

ANALISA KINERJA PULSE WIDTH MODULATION PADA PENGENDALI TEGANGAN MOTOR DC

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Jurusan Teknik Elektro

Oleh :

APRIMAJON
10455025669



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2011

ANALISA KINERJA PULSE WIDTH MODULATION PADA PENGENDALI TEGANGAN MOTOR DC

APRIMA IJON
NIM: 10455025669

Tanggal Sidang : 23 Juni 2011
Tanggal Wisuda : 14 Juni 2011

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim
Jl. H.R. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Kemajuan teknologi dibidang elektronika daya begitu pesatnya, sehingga pengaturan motor yang sebelumnya dilakukan dengan cara manual, sekarang telah dilakukan menggunakan *Pulse width modulation*. Motor DC merupakan salah satu jenis motor yang sering digunakan, hal ini disebabkan karena banyaknya metode pengaturan yang dapat digunakan untuk mengatur kecepatannya. Pengaturan kecepatan motor ini diperlukan untuk mengetahui linieritas kurva motor DC 12V jika di berikan sumber tegangan yang berbeda. Pengaturan kecepatan motor ini di lakukan dengan dua cara yaitu: pengaturan kecepatan dengan cara memberikan sumber tegangan secara kontinyu dan pengaturan kecepatan dengan cara memberikan *pulsa width modulation*. Untuk mengamati atau menampilkan kurva pada monitor komputer di perlukan perangkat keras yaitu berbentuk rangkaian elektronika dan perangkat lunak atau *software* menggunakan program *visual Basic*.

Kata Kunci: Monitor Komputer, *Pulsa Width Modulation*, s RPM Motor DC ,*Visual Basic*,

n, Visual Basic.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBARAN PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRAK</i>	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang masalah	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-1
1.3 Batasan Masalah	I- 2
1.4 Tujuan	I- 2
1.5 Metodologi Penelitian	I- 2
1.6 Sistematika Pembahasan	I- 3
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka	II-1
2.2 Dasar Teori.....	II-2
2.2.1 Motor Arus Searah	II-2
2.2.2 Prinsip Kerja Motor DC.....	II-3
2.2.3 Jenis Motor DC	II-5
2.2.3.1 Motor Magnet Permanen	II-5
2.2.3.2 Motor Seri.....	II-5

2.2.3.3 Motor Shunt.....	II-6
2.2.3.4 Motor DC <i>Compound</i>	II-6
2.2.4 Karakteristik Motor DC	II-7
2.3 Catu Daya.....	II-8
2.3.1 IC Regulator (IC LM78L05 dan LM317)	II-9
2.4 Optocoupler	II-10
2.5 Driver Motor DC.....	II-12
2.6 Frequency To Voltage	II-12
2.7 Penguat Operasional (OP-AMP)	II-13
2.8 Port Printer (Port Paraller)	II-16
2.9 ADC 0804	II-18
2.9.1 Mode Operasi Free Running	II-20
2.9.2 Mode Operasi Hand-Shaking	II-20
2.10 Pulsa White Modulation	II-20
2.11 Pemograman Visual Basic	II-22

BAB III PERANCANGAN SISTEM

3.1 Spesifikasi Alat	III-1
3.1.1 Spesifikasi Perangkat Keras	III-1
3.1.2 Spesifikasi Perangkat Lunak	III-2
3.1.2.1 Diagram Blok dan Prinsip Kerja Sistem	III-2
3.1.2.2 Perancangan ADC 0804	III-3
3.1.2.3 <i>Interface</i> dan Port Paralel	III-5
3.1.2.4 Rangkaian Catu Daya	III-5
3.1.2.5 <i>Frequency to Voltage</i>	III-6
3.1.2.6 Rangkaian Sensor Optocoupler	III-8
3.1.2.7 Catu daya Variabel LM371	III-9
3.1.2.8 Rangkaian Penurun Tegangan	III-10
3.1.2.9 Rangkaian <i>Pulsa Width Modulation</i>	III-12
3.1.3 Perancangan Perangkat Lunak.....	III-13

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1	Pengujian Perangkat <i>Power Surply</i>	IV-1
4.2	Pengujian ADC 0804	IV-2
4.3	Pengujian Rangkaian Sensot Optocopler	IV-5
4.4	Pengujian Rangkaian LM317	IV-8
4.5	Pengujian Rangkaian PWM	IV-11
4.6	Pengujian <i>Prototype</i> secara Keseluruhan	IV-13
4.7	Hasil dan Analisa Secara Keseluruhan	IV-14
4.7.1	Analisa Pengukuran RPM dengan Cara Manual	IV-15
4.7.2	Analisa Pengukuran RPM dengan PWM	IV-16

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran	V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.8 Alamat-alamat dari LPT	II-15
2.8.2 Konfigurasi dan Pin-Pin dari DB-25	II-16
2.10.1 Keterangan menu ToolBar	II-23
4.1 Pengujian IC Regulator	IV-1
4.2 Pengujian ADC 0804	IV-4
4.3 Pengukuran tegangan Schmitt Trigger (4093)	IV-6
4.4 Hasil pengujian <i>LM317</i>	IV-10
4.5 Pengujian rangkaian PWM.....	IV-12
4.6 Perbandingan pengaturan kecepatan motor menggunakan PWM dengan pengaturan kecepatan secara manual	IV-17

BAB I

LANDASAN TEORI

1.1 LATAR BELAKANG

Motor servo adalah sebuah motor dengan sistem closed feedback di mana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor ini terdiri dari sebuah motor, serangkaian gear, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor.

Karakteristik pengaturan kecepatan motor DC secara kontinyu maupun kecepatan motor DC menggunakan *pulsa width modulation* akan ditampilkan dalam bentuk kurva. Kurva perbandingan tegangan input motor DC terhadap putarannya akan di tampilkan pada layar monitor komputer.

Untuk mengamati atau menampilkan kurva pada monitor komputer di perlukan perangkat keras yaitu berbentuk rangkaian elektronika dan perangkat lunak atau *software* menggunakan program *visual basic*.

Penelitian ini akan membandingkan perubahan kecepatan motor DC dengan metode *pulse width modulation* dengan metode tegangan kontinyu kemudian di analisa kinerjanya dan hasilnya akan ditampilkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat di monitor komputer.

1.2 RUMUSAN MASALAH

1. Mengetahui bentuk kurva kecepatan putar motor DC jika diberikan sumber tegangan yang berbeda.
2. Mengetahui letak kesamaan dan ketidaksamaan kurva putaran motor DC jika diberikan sumber tegangan yang berbeda.

1.3 BATASAN MASALAH

Dalam perancangan dan pembuatan *prototype* ini, terdapat beberapa batasan masalah, antara lain :

1. Motor DC yang digunakan pada penelitian ini adalah motor DC jenis permanen magnet daya rendah.
2. Perubahan putaran motor DC dilakukan dengan merubah besarnya tegangan *input* motor dc dengan cara manual dan merubah besar pulsa pada pwm.
3. Pengukuran kecepatan putar motor dinyatakan dalam bentuk tegangan dengan menggunakan rangkaian *frequency to voltage*.
4. Pengaturan kecepatan motor DC ini adalah pengaturan kecepatan tanpa beban.

1.4 TUJUAN

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah untuk membuktikan pengaturan kecepatan motor dengan *metode pulse width modulation* lebih baik dibandingkan pengaturan kecepatan motor DC dengan memberikan tegangan secara kontinyu.

1.5 METODE PENELITIAN

Perencanaan dan pembuatan Tugas akhir ini memerlukan langkah-langkah penyelesaian sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Mempelajari prinsip kerja metode PWM dari pengontrolan putaran motor DC, yang dilanjutkan dengan karakteristik motor DC. Dari hasil pengujian akan didapatkan pengaruh tegangan input terhadap putaran motor DC, dan pengaruh *pulsa width modulation* terhadap kecepatan motor.

2. Perancangan dan Pembuatan

Merencanakan dan membuat sistem yang dibutuhkan dengan tujuan untuk dapat membuktikan dan menganalisa cara kerja *pulse width modulation*.

3. Pengujian Alat dan Analisa Sistem

Mengintegrasikan sistem antara perangkat keras dengan perangkat lunak.

1.6 SISTEMATIKA PEMBAHASAN

Sistematika pembahasan Tugas Akhir ini disusun dengan kerangka sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Berisi latar belakang pembuatan, tujuan, batasan masalah yang dikerjakan dan sistematika pembahasan.

BAB II : Teori Penunjang

Teori-teori penunjang yang dijadikan landasan dan rujukan dalam pembuatan Tugas Akhir ini. Teori penunjang disini meliputi teori, motor DC, *pulse width modulation* , Visual Basic., rangkain *frequency to voltage*, autokopler dan *driver* motor DC.

BAB III : Perancangan dan Pembuatan Alat

Membahas secara lengkap dan menganalisa dan pembuatan sistem yang akan dibangun untuk mendapatkan data untuk dianalisa, baik *hardware* maupun *software*. Yang mencakup blok diagram rangkaian, pembuatan *hardware* dan menguraikan tentang program *Visual Basic.*.

BAB IV : Pengujian dan Analisa

Untuk analisa yang dibuat maka dilakukan pengujian terhadap masing-masing bagian dengan tujuan untuk mengetahui kinerjanya apakah sesuai dengan yang diharapkan atau belum. Pada bab ini juga diuraikan tentang analisa dari masing-masing blok.

BAB V : Penutup

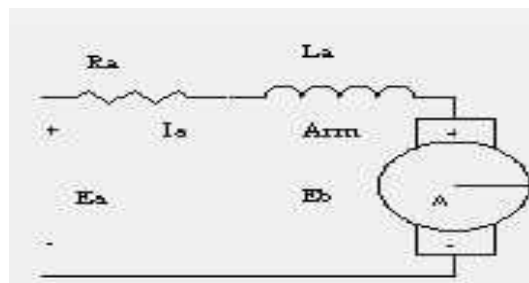
Berisi kesimpulan dari keseluruhan pengerjaan tugas akhir dan saran-saran untuk memperbaiki demi pengembangan dan penyempurnaan di masa mendatang.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Sistem pengendalian kecepatan putaran motor DC dengan magnet permanen ini menggunakan pengendalian modulasi lebar pulsa (*Pulse Width Modulation*,). Hal ini dapat dilakukan dengan cara mengubah tegangan masukan E_a dengan mengingat fluks magnetnya tetap. Motor DC magnet permanen ini ditunjukkan seperti pada Gambar 2.1. di bawah ini.



Gambar 2.1: fluks magnetnya tetap. Motor DC (Ananda,,2002)

Sistem motor DC magnet permanen Dengan mengabaikan L_a persamaan tegangan pada rangkaian jangkar (*armature*) dituliskan :

$$E_a = I_a R_a + E_b \dots\dots\dots 2.1$$

Untuk keadaan tunak (*steady state*) dinyatakan sebagai berikut :

$$E_a = I_a R_a + E_b \dots\dots\dots 2.2$$

Berdasarkan sistem dasar motor DC magnet permanen di atas dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

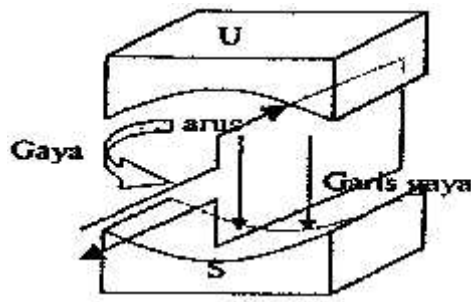
$$E_b = C n \phi \dots\dots\dots 2.3$$

Di mana C adalah konstanta, ϕ adalah fluks magnet, dan n adalah kecepatan putaran (*rpm*). Karena nilai fluks magnet konstan maka pengendalian kecepatan putaran motor DC ini dilakukan dengan cara mengubah tegangan masukan E_a .

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Motor arus searah

Motor arus searah adalah suatu mesin listrik yang berfungsi merubah tenaga listrik arus searah menjadi tenaga mekanik. Perubahan tenaga listrik menjadi tenaga mekanik berdasar satu kaidah yang menarangkan bila satu penghantar yang membawa arus listrik berada pada sebuah medan magnet akan mengalami suatu gaya seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.2 : Prinsip dasar motor arus searah (Ananda,,2002)

Parameter yang dapat mempengaruhi kecepatan putaran motor DC adalah tegangan dan arus jangkar (Tugino,Dkk,1994)

Dimana :

$$n = \frac{V_a - I_a \cdot R_a}{c \cdot \phi} \dots\dots\dots 2.4$$

Dengan :

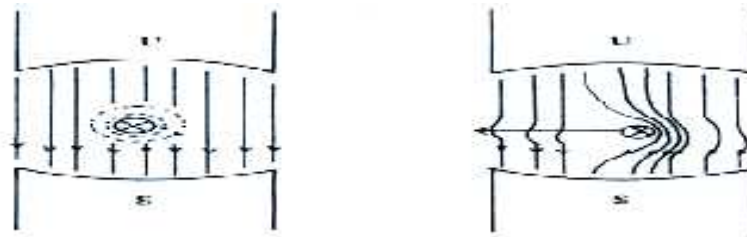
- n = kecepatan putaran (rpm)
- V_a = tegangan jangkar (volt)
- I_a = arus jangkar (amper)
- R_a = Tahanan Belitan Jangkar (Ohm)
- Φ = fluk atau kuat medan magnet (weber)
- C = konstanta

2.2.2 Prinsip Kerja Motor DC

Terdapat dua elemen listrik dari motor DC yaitu bagian stator (kumparan medan utama) dan rotor (kumparan jangkar). Kumparan jangkar mengalirkan arus yang berasal dari komutator. Tegangan DC dialirkan ke kumparan jangkar melalui karbon yang menempel komutator. Meskipun pada motor DC kecil, magnet permanen dapat digunakan sebagai stator.

Tetapi pada motor yang besar yang biasa digunakan di industri menggunakan elektomagnet sebagai stator. Pada saat tegangan dialirkan ke kumparan medan distator dengan kutub utara dan selatan buatan (elektromagnet) akan dihasilkan medan magnet statis.

Untuk menjelaskannya stator akan dianggap sebagai magnet Motor DC berputar sebagai akibat adanya dua medan magnet yang saling berinteraksi satu sama lain. Medan pertama adalah medan magnet utama yang berada pada kumparan stator dan medan kedua adalah medan magnet yang berada di jangkar. Perhatikan gambar 2.3.dan gambar 2.4 permanen.



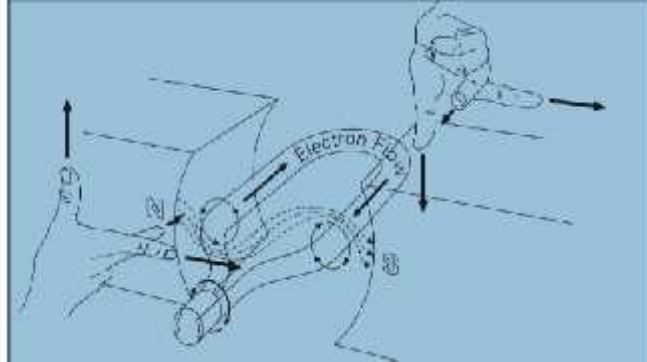
Gambar 2.3 Medan magnet di jangkar (Ananda,2002)



Gambar 2.4 : Medan magnet permanent (Ananda,2002)

Bila sebuah kawat berarus diletakkan antara kutub magnet (utara-selatan) maka pada kawat itu akan bekerja gaya sehingga kawat bergerak. Gaya dimaksud adalah gaya yang dikenal dengan gaya Lorentz. Arah gaya Lorentz dan hubungannya medan magnet utama serta arah arus pada jangkar dapat dijelaskan dengan aturan tangan kanan untuk motor. Jika ibu jari, telunjuk dan jari tengah diletakkan pada posisi yang sesuai dengan ilustrasi (perhatikan gambar 2.5) maka telunjuk akan menunjukkan arah fluks magnet dan jari tengah menunjukkan pada arah pergerakan elektron (ingat bukan arah arus) pada konduktor dan ibu jari akan menunjukkan pergerakan konduktor. Seperti yang ditunjukkan pada ilustrasi konduktor pada sisi kiri bergerak naik.

Konduktor pada sisi kanan bergerak turun. Ini akan menghasilkan pergerakan motor yang bergerak searah jarum jam. Akan terlihat besarnya gaya pada konduktor untuk menghasilkan putaran sebanding dengan kekuatan medan dan besarnya arus pada konduktor.



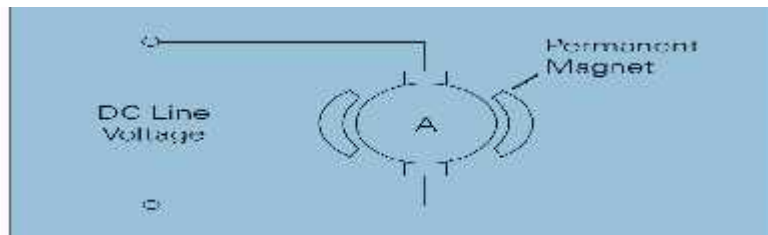
Gambar 2.5 : Arah gaya Lorentz (Ananda,,2002)

Besaran gaya Lorentz dirumuskan dengan, $F = B I L$. Dimana B adalah fluks magnet dalam (Gauss) L adalah panjang kawat penghantar dalam (cm) dan I adalah arus listrik yang melalui kawat dalam (Ampere)

2.2.3 JENIS MOTOR DC

2.2.3.1 Motor Magnet Permanen

Motor magnet permanen menggunakan magnet permanen untuk menyuplai fluks magnet. Motor DC jenis ini memiliki torsi *start* dan regulasi kecepatan yang bagus. Kekurangan dari motor DC jenis ini adalah keterbatasan dari besar beban yang dapat ditarik. Motor ini tersedia pada alat-alat dengan HP rendah.

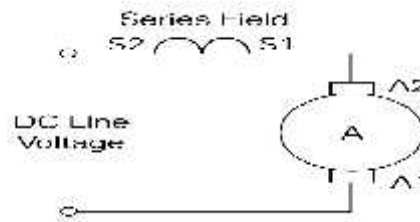


Gambar 2.6 Motor magnet permanen (Ananda,,2002)

2.2.3.2 Motor Seri

Pada motor DC seri kumparan medan disambungkan secara seri dengan rotor. Kumparan bertipe *Wound* dengan diameter besar dipasangkan hal ini dilakukan karena harus membawa arus rotor yang penuh. Karakteristik dari motor DC seri menghasilkan torsi awal yang besar. Tetapi motor jenis ini mempunyai variasi kecepatan yang lebar antara saat tanpa beban dan saat beban penuh.

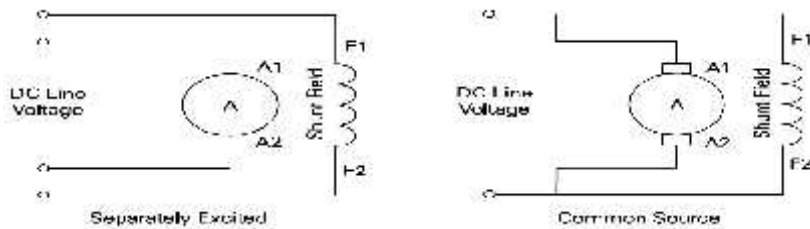
Motor seri tidak sesuai jika digunakan untuk membawa beban dengan kecepatan konstan. Motor ini diperlukan untuk membawa muatan yang bervariasi. Motor jenis ini mempunyai karakteristik bahwa saat tanpa beban, kecepatan akan terus naik sampai batas yang dapat menimbulkan kerusakan terhadap dirinya. Untuk menghindari kecepatan yang berlebih tersebut motor ini harus selalu disambungkan dengan beban.



Gambar 2.7 : Rangkaian motor seri (Ananda,,2002)

2.2.3.3 Motors *Shunt*

Pada motor *shunt*, rangkaian kumparan medan terhubung paralel dengan kumparan rotor. Motor DC *shunt* mempunyai karakteristi regulasi tegangan yang baik. Kumparan medan dapat disuplai dari sumber tegangan tersendiri maupun disambungkan dengan kumparan jangkar. keuntungannya adalah memungkinkan dikendalikannya kumparan medan dan kumparan jangkar secara independen. Motor jenis ini memungkinkan pengendalian pembalikan arah putaran serta pengereman regeneratif.

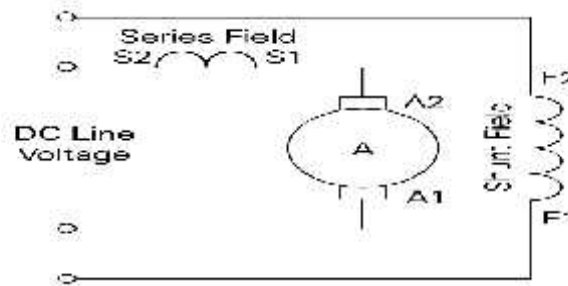


Gambar 2.8 : Pengendalian pembalikan arah putaran motor DC
(Ananda,2002)

2.2.3.4 Motor DC *Compound*

Motor *compound* mempunyai dua kumparan medan. Mereka adalah kumparan medan seri dan kumparan medan *shunt*. Kumparan medan seri memungkinkan didapatkannya torsi awal yang lebih baik dan kumparan medan *shunt* memungkinkan didapatkannya regulasi kecepatan yang lebih

baik. Tetapi medan seri dapat menyebabkan masalah untuk penerapan yang membutuhkan variasi kecepatan



Gambar 2.9 : Motor *compound* (Ananda,2002)

2.2.4 KARAKTERISTIK MOTOR DC

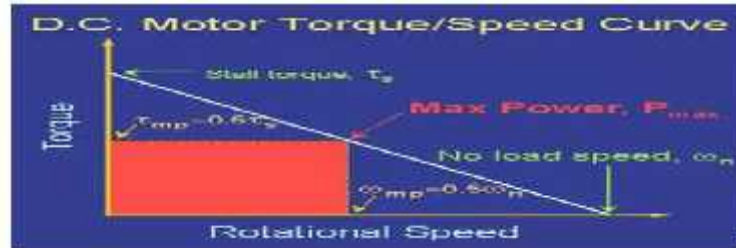
Karakteristik yang dimiliki suatu motor DC dapat digambarkan melalui kurva daya dan kurva torsi/kecepatannya dari kurva tersebut dapat dianalisa batasan-batasan kerja dari motor serta daerah kerja optimum dari motor tersebut.



Gambar 2.10 : Kurva Daya Motor DC (Ananda,2002)

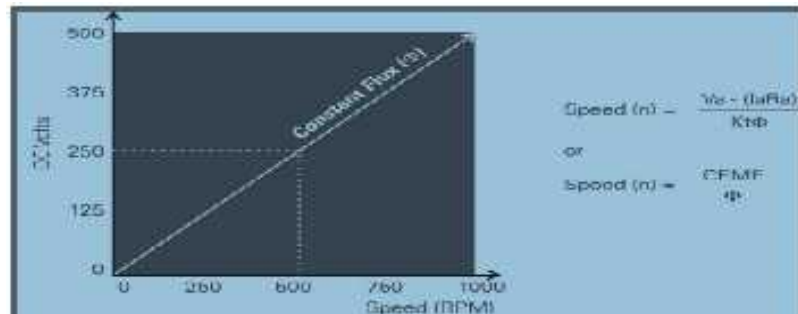
Dari grafik diatas terlihat hubungan antara torsi dan kecepatan untuk suatu motor DC tertentu. dari grafik terlihat bahwa torsi berbanding terbalik dengan kecepatan putaran. Dengan kata lain terdapat *tradeoff* antara besar torsi yang dihasilkan motor dengan kecepatan putaran motor. Dua karakteristik penting terlihat dari grafik yaitu:

- Stall torque menunjukkan titik pada grafik dimana torsi maksimum tetapi tidak ada putaran pada motor.
- No load speed menunjukkan titik pada grafik dimana terjadi kecepatan putaran maksimum tetapi tidak ada beban pada motor



Gambar 2.11: Persamaan Daya (Ananda,,2002)

Hubungan antara V_a dan kecepatan motor adalah sebanding, selama fluksnya konstan. Misalnya kecepatan akan bernilai 50 dari kecepatan dasar jika V_a yang diterapkan sebesar 50% V_a

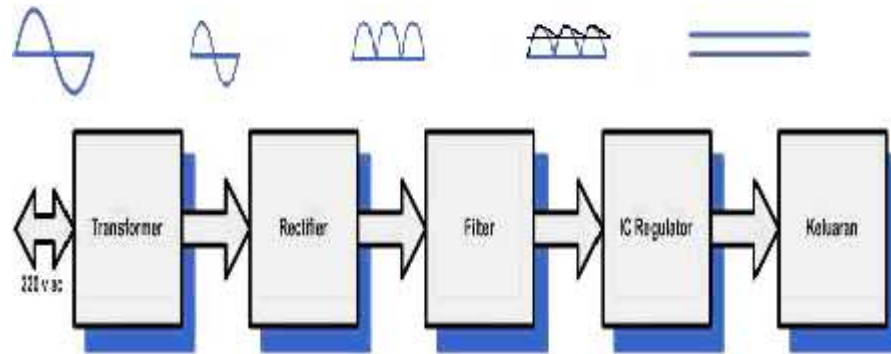


Gambar 2.12 : Hubungan antara V_a dan kecepatan motor (Ananda,,2002)

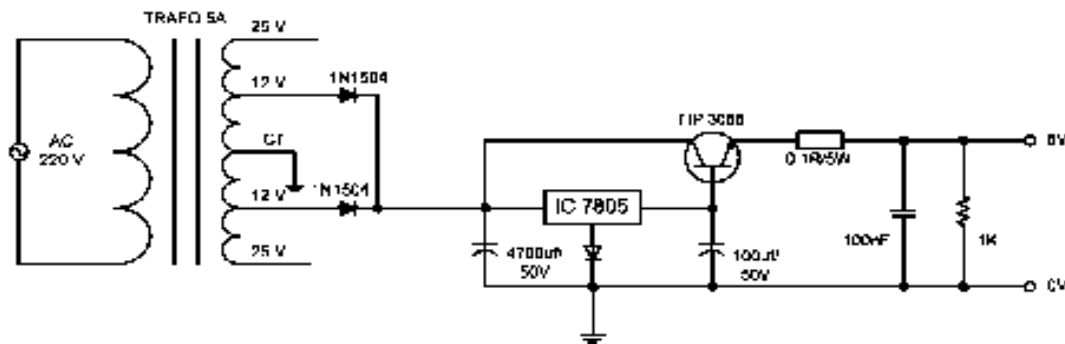
2.3 CATU DAYA

Power supply merupakan unit terpenting pada semua rangkaian elektronika, karena sebagai sumber daya bagi rangkaian elektronika lainnya. Daya yang diberikan dapat berupa sumber daya AC atau DC. *Power supply* dapat berupa unit yang terpisah ataupun dapat juga sebagai rangkaian khusus yang menyatu pada suatu peralatan.

Power supply terdiri dari beberapa bagian yaitu *transformer* penyearah (*rectifier*), *filter* dan *regulator*. Berikut merupakan gambar rangkaian dari *power supply*.



Gambar 2.13 : Blok Diagram *Power Supply* (Susianti, 2006)

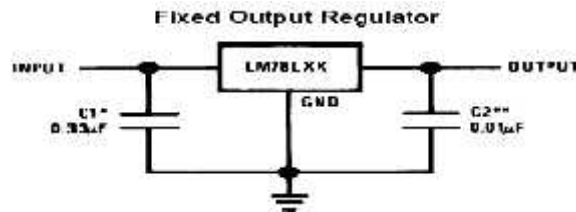


Gambar 2.14: Rangkaian *Power Supply* (Susianti, 2006)

2.3.2 IC Regulator (IC LM78L05 dan LM317)

Regulator tegangan berfungsi untuk menstabilkan tegangan keluaran akhir ke beban. Terkadang diinginkan suatu keluaran tegangan yang memiliki nilai yang *fixed* dan konstan untuk dihubungkan ke beban. Hal ini tidak cukup hanya dengan mengambil tegangan keluaran dari rangkaian *filter* untuk dihubungkan ke beban karena hasil keluaran dari rangkaian *filter* masih mengandung faktor *ripple*. Telah diketahui bahwa faktor *ripple* memiliki tegangan yang tidak stabil. Untuk tegangan keluaran akhir *power supply* diinginkan suatu keluaran berupa sinyal DC yang

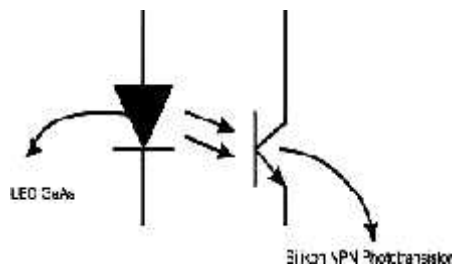
stabil/konstan. Prinsip kerja dari regulator tegangan adalah mempertahankan hasil keluaran tegangan pada nilai yang konstan walaupun masukan yang didapat oleh rangkaian *regulator* tidak tetap.



Gambar 2.15 : IC LM7805 (Susianti,2006)

2.4 OPTOCOUPLER

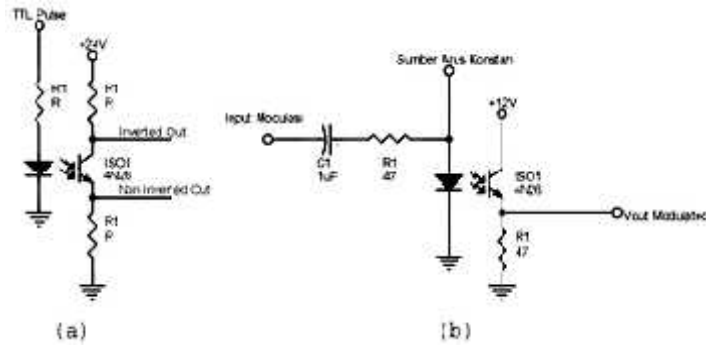
Optoisolator atau yang lebih dikenal dengan optocoupler merupakan komponen yang digunakan sebagai komponen kontrol I/O untuk peralatan yang beroperasi dengan tegangan DC atau AC. Sebuah optocoupler terdiri dari GaAs LED dan fototransistor NPN yang terbuat dari silikon.



Gambar 2.16 : Optoisolator / Optocoupler (elka2_blogspot@yahoo.com)

Prinsip kerja optocoupler sebagai sensor adalah bahwa dioda inframerah akan memancarkan cahaya inframerah yang nantinya akan diterima oleh fototransistor. Penggunaan yang paling sering dilakukan adalah untuk mendeteksi keberadaan suatu benda. Keberadaan benda tersebut ditandai oleh jumlah atau intensitas cahaya inframerah yang diterima fototransistor. Kinerja optocoupler ditentukan oleh kemampuan bagian penerima (fototransistor) untuk membedakan cahaya yang benar-benar bersumber dari dioda inframerah dengan cahaya lain yang ada disekitarnya.

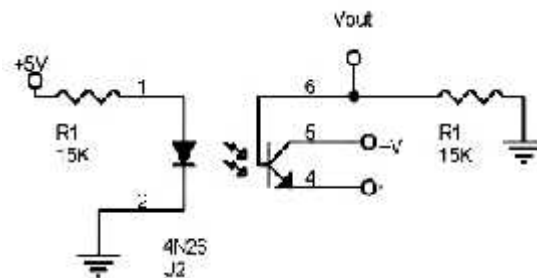
Untuk itu diperlukan cara agar cahaya yang bersumber dari dioda inframerah bersifat spesifik/unik yang berbeda dengan cahaya lain yang ada di sekitarnya. Dengan demikian bagian penerima juga harus dikondisikan sehingga peka terhadap cahaya yang telah dimodulasikan tersebut.



Gambar 2.17 : Penggunaan Optocoupler (elka2_blogspot@yahoo.com)

Pada Gambar 2.6a. optoisolator mendapat masukan TTL berbentuk sinyal kotak sehingga keluarannya juga berupa sinyal kotak namun level tegangan berubah menjadi 0-+24 volt. Pada Gambar 2.6b optoisolator digunakan pada masukan yang termodulasi dengan tegangan V_{in} terisolasi dengan V_{out} modulasi yang tegangan puncaknya +12V.

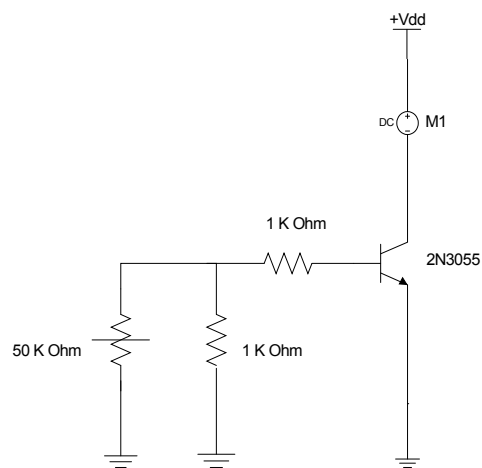
Kerugian atau keburukan dari optocoupler adalah pada kecepatan *switching*-nya. Hal ini disebabkan karena efek dari area yang sensitif terhadap cahaya dan timbulnya efek kapasitansi pada *junction*-nya. Jika diperlukan kecepatan *switching* yang cukup tinggi maka optoisolator harus dikonfigurasi sehingga yang digunakan adalah sebagai *photodiode*-nya seperti tampak pada Gambar 2.18



Gambar 2.18 : *Diode-Diode* Optocoupler (elka2_blogspot@yahoo.com)

2.5 DRIVER MOTOR DC

Untuk menggerakkan motor DC digunakan transistor tipe TIP 2N3055 sebagai *driver* motor yang terdiri atas dua transistor NPN model *darlington* di dalamnya dan mampu mengalirkan arus basis sebesar 120 mA DC. Gambar 2.19 memperlihatkan rangkaian ekuivalen transistor TIP 120.



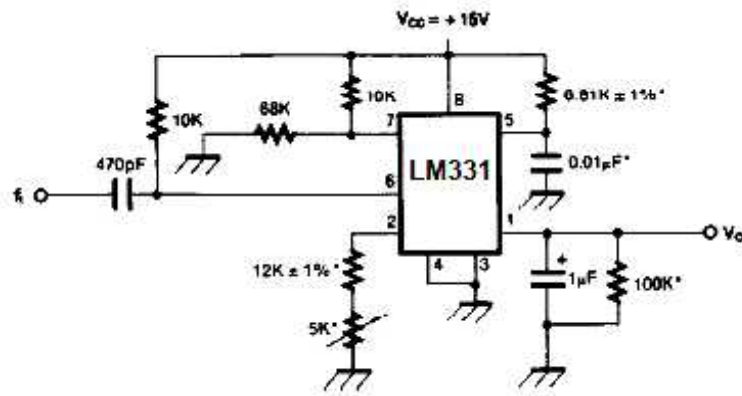
Gambar 2.19 : Rangkaian ekuivalen TIP 2N3055

Dengan : $R1 = 1K \Omega$
 $R2 = 10 K \Omega$

2.6 FREQUENCY TO VOLTAGE

Pada penelitian menggunakan rangkaian pengubah dari frekuensi ke tegangan. Rangkaian tersebut dianggap mewakili tachometer sebagai pengukur kecepatan putaran rotor.

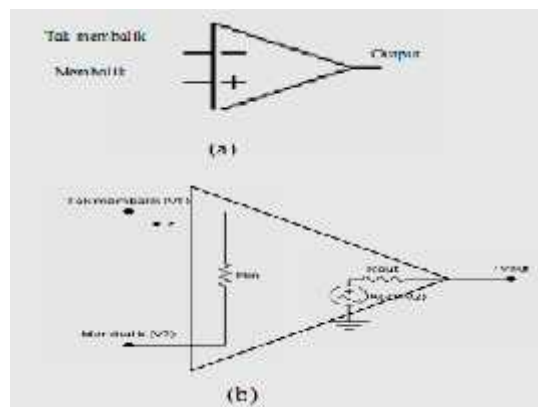
Rangkaian *frequency to voltage* menggunakan IC LM 331 dengan mengacu kepada lembar data sheet yang didapat dari www.datasheetcatalog.com



Gambar 2.20 : Rangkaian *frequency to volage* (<http://www.alldatasheets.com>)

2.7 PENGUAT OPERASIONAL (OP-AMP)

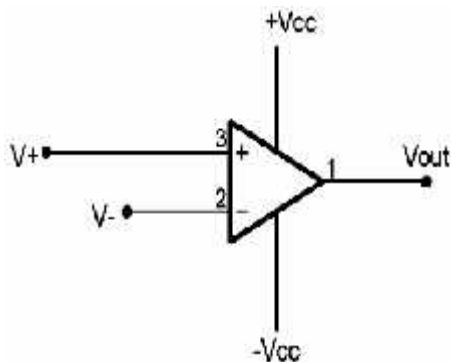
Penguat Operasional merupakan rangkaian terpadu linier dasar (atau lebih tepatnya adalah analog), yang sering difabrikasi dalam satu sampai empat unit serupa dalam satu kemasan. Diagram Op-Amp ditunjukkan pada Gambar 2.21.



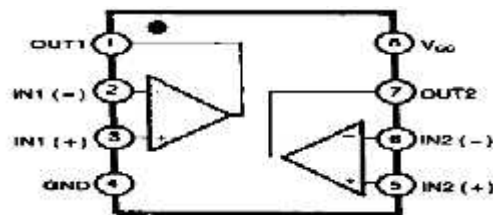
Gambar 2.21 (a) Simbol Penguat Operasional ; (b) Rangkaian Pengganti
(Malvino, 1996 : 66-67)

Pada keadaan *open loop*, *op-amp* tidak lagi berfungsi sebagai penguat karena pada keadaan ini *op-amp* memiliki penguatan yang sangat besar sehingga nilai V_{out} akan saturasi (mencapai V_{cc}). Dalam keadaan ini, penggunaan *op-amp* dikatakan tak *linier*.

Salah satu penggunaan *op-amp* yang tak *linier* adalah sebagai komparator (pembanding) tegangan. Keluaran pembanding hanya mempunyai 2 nilai yaitu $+V_{cc}$ dan Gnd. Tegangan yang akan dibandingkan, dimasukkan pada *input-input op-amp* seperti Gambar 2.22.



Gambar 2.22 : Komparator (Satyadi, 2006)



(a)

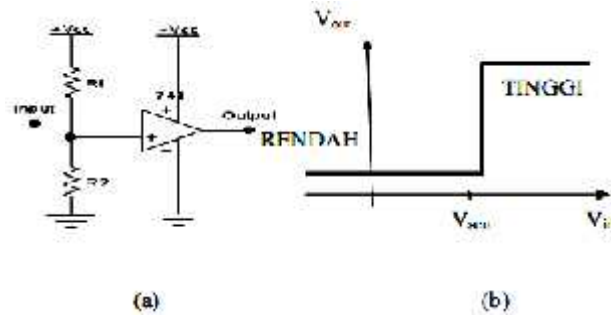


(b)

Gambar 2.23 : IC PM358 (a) diagram blok internal ; (b) bentuk fisik

(www.fairchildsemi.com, 2000)

Op-Amp dapat bekerja pada catu tunggal positif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.72.



Gambar 2.24 : (a) Pembanding catu tunggal ; (b) Karakteristik transfer
(Malvino, 1996:164)

Disini tegangan keluarnya hanya mempunyai satu polaritas, yaitu tegangan positif rendah dan tinggi. Misalnya $V_{cc} = +15$, rentang keluaran berkisar antara 1v atau 2v (keadaan rendah) sampai 13 atau 14 (keadaan tinggi).

Tegangan acuan yang diterapkan pada masukan membalik berharga positif dan sama dengan:

$$V_{ace} = \frac{R2}{R1 + R2} V_{cc} \dots\dots\dots 2.5$$

Bila V_{in} lebih besar dari pada V_{acu} keluarannya tinggi seperti pada gambar 2.11 (b). Bila V_{in} lebih kecil dari pada V_{acu} keluarannya rendah. Dalam kasus ini keluarannya mempunyai polaritas yang positif.

- Jika: $(V+) - (V-) > 0V$, maka $V_{out} = V_{cc}$
- $(V+) - (V-) < 0V$, maka $V_{out} = -V_{cc}$
- $(V+) - (V-) = 0V$, maka $V_{out} = -V_{cc}$

Rangkaian interface adalah rangkaian yang menghubungkan rangkaian dari satu unit atau piranti dengan yang lain, atau dengan kata lain interface merupakan suatu rangkaian jembatan (penghubung) antara piranti luar dengan perangkat-perangkat komputer.

2.8 Port Printer (*Port Paraller*)

Port printer merupakan unit I/O yang digunakan khusus untuk penanganan mesin cetak atau sering disebut Line Printer (LPT). Port printer ini terdiri dari delapan output, lima buah input dan empat fungsi *bidirectional*. Pengiriman data dari port printer ini dilakukan secara paralel. Dalam IBM PC standar satu buah LPT mempunyai tiga buah alamat I/O yaitu:

- a) Port Data.
- b) Port Status.
- c) Port Control.

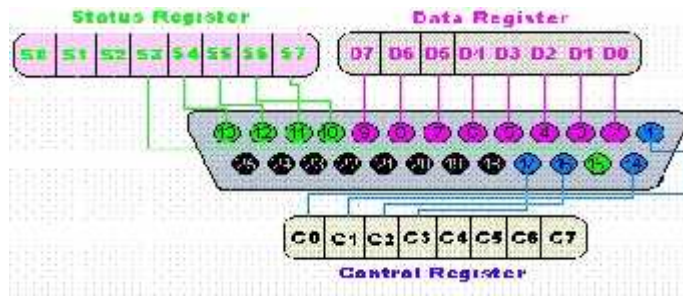
Port Data berfungsi sebagai output yang bersifat membaca (*read*) data. Sedangkan Port Status berfungsi sebagai input yang bersifat menulis (*write*) data. Dan Port Control bisa digunakan untuk input ataupun output.

Dalam satu komputer seringkali terdapat lebih dari satu LPT, dan alamat yang sering digunakan yaitu:

Tabel 2.8 Alamat-alamat dari LPT

Nama Port	LPT1	LPT2	LPT3
Port Data	378H	278H	3BC
Port Status	379H	279H	3BD
Port Control	37AH	27AH	3BE

Konektor dari port printer ini dinamakan *DB-25*. Tata letak pin dari DB-25 dapat dilihat pada gambar 2.8 dan konfigurasi serta pin dari DB-25 dijelaskan pada tabel 2.8.2



Gambar 2.25 : Port Parallel (Kurnia, 2006)

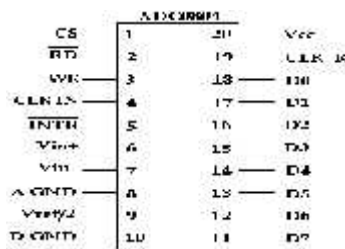
Tabel 2.8.2 Konfigurasi dan Pin-Pin dari DB-25

Port Data	Nama Sinyal	Letak pada DB-25	Sifat
Bit-0	Data-0	Pin-2	Normal
Bit-1	Data-1	Pin-3	Normal
Bit-2	Data-2	Pin-4	Normal
Bit-3	Data-3	Pin-5	Normal
Bit-4	Data-4	Pin-6	Normal
Bit-5	Data-5	Pin-7	Normal
Bit-6	Data-6	Pin-8	Normal
Bit-7	Data-7	Pin-9	Normal
Port Kontrol	Nama Sinyal	Letak pada DB-25	Sifat
Bit-0	Strobe	Pin-1	Inverting
Bit-1	Auto Line Feed	Pin-14	Inverting
Bit-2	Initialize Printer	Pin-16	Normal
Bit-3	Select Printer	Pin-17	Inverting
Bit-4	Enable IRQ-7	-	Normal
Bit-5	Enable Bidirectional	-	-
Bit-6	Tidak Terpakai	-	-

Bit-7	Tidak Terpakai	-	-
Port Status	Nama Sinyal	Letak pada DB-25	Sifat
Bit-0	-	-	-
Bit-1	-	-	-
Bit-2	IRQ	-	Inverting
Bit-3	Error	Pin-15	Normal
Bit-4	Select In	Pin-13	Normal
Bit-5	Paper Out	Pin-12	Normal
Bit-6	Acknowledge	Pin-10	Normal
Bit-7	Busy	Pin-11	Inverting

2.9 ADC 0804

Rangkaian ADC 0804 ditujukan untuk mengubah tegangan analog yang berasal dari input analog menjadi bentuk digital 8 bit. ADC ini memiliki 20 kaki. ADC 0804 ini mempunyai range tegangan 0 Volt sampai dengan 5 Volt dan mempunyai dua masukan yaitu Vin(+) dan Vin(-).



Gambar 2.26 : Konfigurasi pin ADC 0804 (<http://www.alldatasheets.com>)

Jadi secara umum karakteristik dari ADC 0804 adalah sebagai berikut :

Dua input analog yakni : Vin (+) dan Vin (-) yang merupakan *input differensial* yang artinya analog $V_{in} = V_{in(+)} - V_{in(-)}$. Apabila digunakan untuk pengukuran tunggal, maka Vin(-) harus di Groundkan.

1. Dapat mengkonversi tegangan input analog menjadi 8 bit output digital. Resolusinya adalah $5/255 = 19,6 \text{ mV}$.
2. Mempunyai fasilitas *internal clock*.
3. Memiliki fungsi pin sebagai berikut :
 - a. Pin 11-18 *Output Data*

Pin ini merupakan pin *output* atau keluaran data pada saat melakukan konversi data analog dimana Db0 atau pin 18 merupakan bit yang paling kecil dan Db7 atau pin 11 merupakan bit yang besar.
 - b. Pin 1, CS (*Chip Select*)

Chip select digunakan untuk mengaktifkan ADC 0804. Input ini memiliki sifat aktif low. Jika berlogika tinggi ADC 0804 tidak aktif (*disable*) dan semua keluaran berada dalam keadaan impedansi tinggi.
 - c. Pin 2, RD (*Output Enable*)

Input ini digunakan untuk meng-*enable* buffer *output* digital.
 - d. Pin 3, WR (*Start Conversion*)

Digunakan untuk memulai konvers, yakni dengan memberikan pulsa input *start low* sesaat.
 - e. Pin 5, INTR (*End Of Conversion*)

Pin ini berfungsi sebagai *interrupt* atau tegangan kejut artinya sinyal output sesaat akan menuju tinggi pada *start* konversi diberikan dan akan kembali rendah setelah selesai konversi.
 - f. Pin 9, Vref/2

Ini adalah input optional yang dapat digunakan untuk menghasilkan tegangan referensi dan dapat mengubah range input analognya.
 - g. Pin 19, CLK-R

Sebuah resistor harus dihubungkan pada pin ini untuk menggunakan internal clock.
 - h. Pin 4, CLK IN

Digunakan untuk external clock input atau dengan menghubungkan kapasitor untuk menggunakan internal clock.

2.9.1 Mode Operasi *Free Running*

Agar ADC 0804 dapat dioperasikan pada mode operasi *free running* (proses membaca terus menerus dan tanpa proses operasi jabat tangan) maka pin CS dan RD digroundkan, sedangkan pin WR dan INTR tidak dihubungkan kemanapun. Prinsip kerja operasi *free running* ini yaitu ADC akan memulai konversi ketika INTR kembali tidak aktif (logika '1'). Setelah proses konversi selesai INTR akan aktif (logika '0'). Untuk memulai konversi pertama kali WR harus digroundkan sesaat.

Ketika selesai konversi data hasil konversi akan dikeluarkan secara langsung dari buffer untuk dibaca karena RD digroundkan. Saat sinyal INTR aktif (logika '0') sinyal ini digunakan untuk me-reset. Saat INTR kembali tidak aktif (logika '1') proses konversi dimulai kembali.

2.9.2 Mode Operasi *Hand-Shaking*

ADC 0804 dioperasikan pada mode *hand shaking*. Agar ADC dapat bekerja, CS harus berlogika '0'. Ketika WR berlogika '0' ADC akan direset, sedangkan ketika sinyal WR kembali '1' maka proses konversi segera dimulai. Selama konversi sedang berlangsung, sinyal INTR akan tidak aktif (berlogika '1') sedangkan saat konversi selesai ditandai dengan aktifnya sinyal INTR (logika '0').

Setelah proses konversi selesai data hasil konversi tetap tertahan pada buffer ADC. Data hasil konversi tersebut akan dikeluarkan dengan mengirim sinyal RD berlogika '0'. Setelah adanya sinyal RD ini maka sinyal INTR kembali tidak aktif.

2.10 Pulse Width Modulation (PWM)

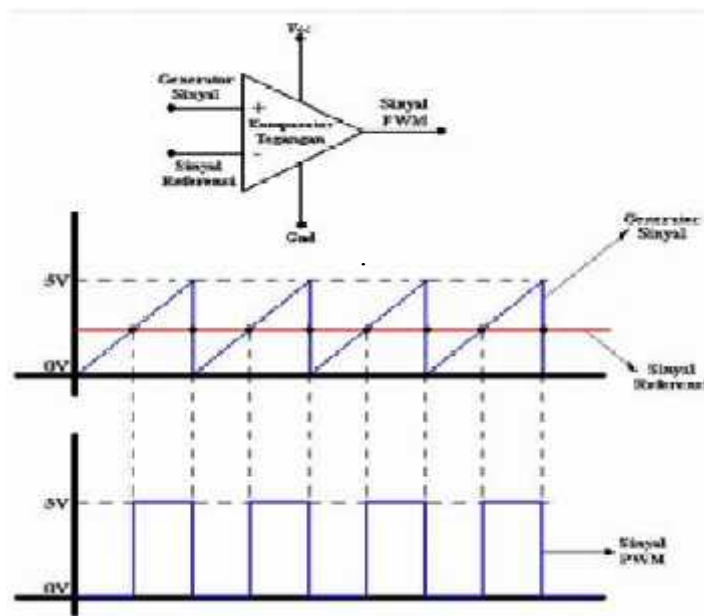
Salah satu cara untuk mengirimkan informasi analog adalah dengan menggunakan pulsa-pulsa tegangan atau pulsa-pulsa arus. Dengan modulasi pulsa, pembawa informasi terdiri dari pulsa-pulsa persegi yang berulang-ulang. Salah satu

teknik modulasi pulsa yang digunakan adalah teknik modulasi durasi atau lebar dari waktu tunda positif ataupun waktu tunda negatif pulsa-pulsa persegi . Metode tersebut dikenal dengan nama *Pulse Width Modulation (PWM)*. Metode *PWM* dikenal juga dengan nama *Pulse Duration Modulation (PDM)* atau *Pulse Length Modulation (PLM)*

Untuk membangkitkan sinyal *PWM* digunakan komparator untuk membandingkan dua buah masukan yaitu generator sinyal dan sinyal referensi. Hasil keluaran dari komparator adalah sinyal *PWM* yang berupa pulsa-pulsa persegi yang berulang-ulang. Lebar pulsa dapat dimodulasi dengan cara mengubah sinyal referensi. Metode *PWM* digunakan untuk mengatur kecepatan motor, informasi yang dibawa oleh pulsa-pulsa persegi merupakan tegangan rata-rata. Besarnya tegangan rata-rata tersebut dapat diperoleh dari :

$$V_{out} = (V_{ref} * \text{duty cycle}) / \text{periode}$$

Semakin lebar durasi waktu tunda positif pulsa dari sinyal PWM yang dihasilkan, maka putaran motor akan semakin cepat demikian juga sebaliknya



Gambar 2.27 : Bentuk sinyal pulse width modulation (roenz, 2007)

2.11 Pemrograman Visual Basic.

Visual Basic. (atau sering disingkat VB) adalah salah satu bahasa pemrograman komputer. Bahasa pemrograman adalah perintah-perintah yang dimengerti oleh komputer untuk melakukan tugas-tugas tertentu. Bahasa pemrograman Visual Basic. yang dikembangkan oleh Microsoft sejak tahun 1991, merupakan pengembangan dari pendahulunya yaitu bahasa pemrograman BASIC (*Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code*) yang dikembangkan pada era 1950-an. Visual Basic. merupakan salah satu *Development Tool* yaitu alat bantu untuk membuat berbagai macam program komputer khususnya yang menggunakan sistem operasi Windows. Dengan Visual Basic. kita bisa memanfaatkan kemampuan windows secara optimal. Dengan kecanggihannya yang ditawarkan oleh Visual Basic. kita akan merasakan begitu mudahnya menyusun program aplikasi dengan tampilan grafis yang menawan dalam waktu yang relatif singkat.



Gambar 2.28 Program Visual Basic. 6.0 (Firdaus. 2006).

2.11.1 Menu pada Visual Basic.

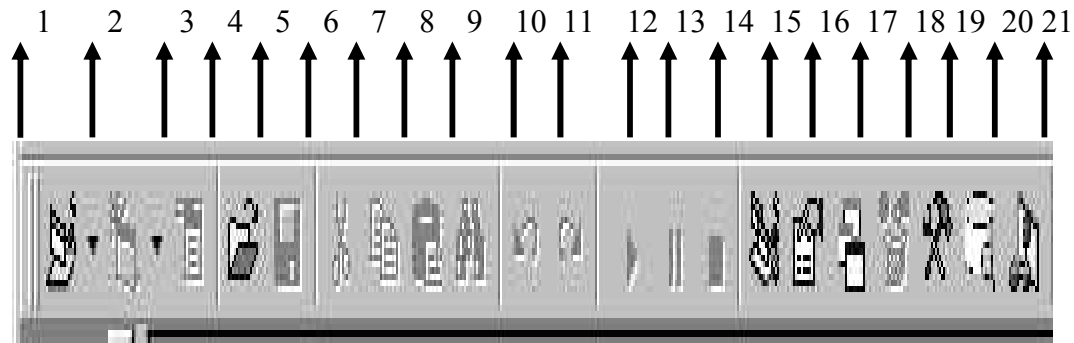
Bahasa Pemrograman Visual Basic. mempunyai beberapa menu sebagai fasilitas dalam membuat suatu program antara lain :

2.11.1.1 Menu Bar (menu Built-in)

Menu bar terdiri dari menu File Edit, View Project, Format, Debug, Run, Query, Diagram, Tools, Add-Ins, Window, dan menu Help.

2.11.1.2 Menu ToolBar

Menu *ToolBar* merupakan menu berbentuk *icon* yang berisi perintah. Setiap menu *ToolBar* terdapat dalam menu utama Visual Basic.. Umumnya, menu *ToolBar* berisi *icon* perintah seperti berikut ini :



Gambar 2.29 : Menu ToolBar (Firdaus. 2006).

Tabel 2.10.1 Keterangan menu ToolBar

No.	Keterangan	No.	Keterangan	No.	Keterangan
1.	<i>Project</i>	8.	<i>Paste</i>	15.	<i>Project Explorer</i>
2.	<i>Add Form</i>	9.	<i>Find</i>	16.	<i>Propertises Window</i>
3.	<i>Menu Editor</i>	10.	<i>Can't undo</i>	17.	<i>Form Layout</i>
4.	<i>Open Project</i>	11.	<i>Can't redo</i>	18.	<i>Object Browser</i>
5.	<i>Save Project</i>	12.	<i>Start Project</i>	19.	<i>ToolBox</i>
6.	<i>Cut</i>	13.	<i>Break</i>	20.	<i>Data View Window</i>
7.	<i>Copy</i>	14.	<i>End</i>	21.	<i>Component Manager</i>

2.11.1.3 Menu ToolBox

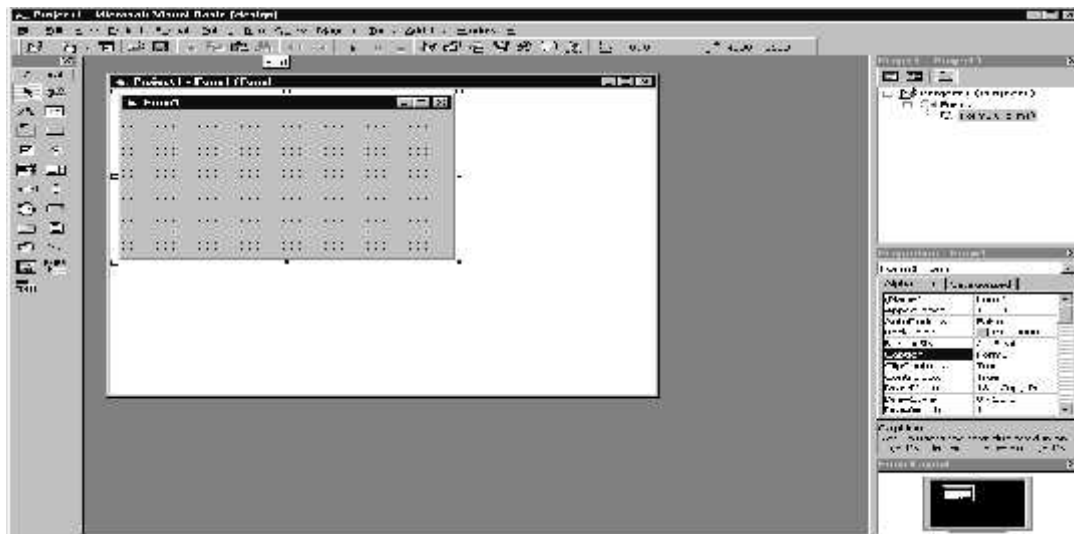
ToolBox akan menampilkan standar kontrol Visual Basic. plus kontrol *activeX* dan dapat menyisipkan objek yang akan ditambahkan ke proyek.



Gambar 2.30 : Menu utama Visual Basic. 6.0 (Firdaus. 2006)

2.11.1.4 Membuat Suatu Proyek

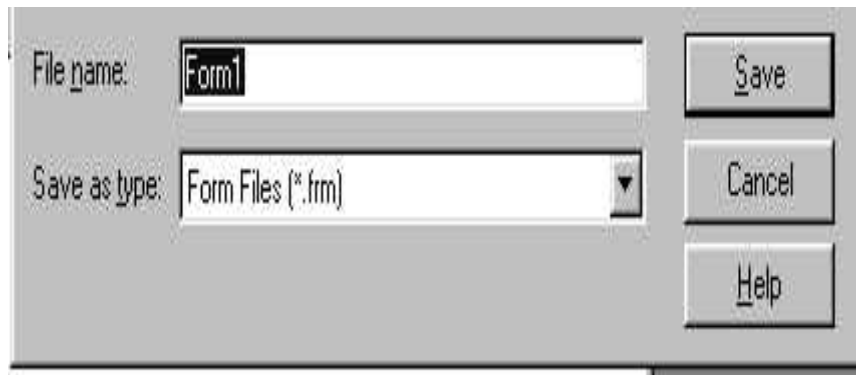
Langkah pertama dalam Visual Basic. adalah membuat proyek. Terdapat dua cara dalam pembuatan proyek baru. Pertama pilih *Standard EXE* dalam tab *New* pada *New Project* setelah pemanggilan pertama Visual Basic.. Cara kedua dari menu *File*, pilih *New Project*, kemudian klik pilihan *Ok*. Lihat gambar dibawah ini



Gambar 2.31 : Menu pilihan “New Project” (Firdaus. 2006)

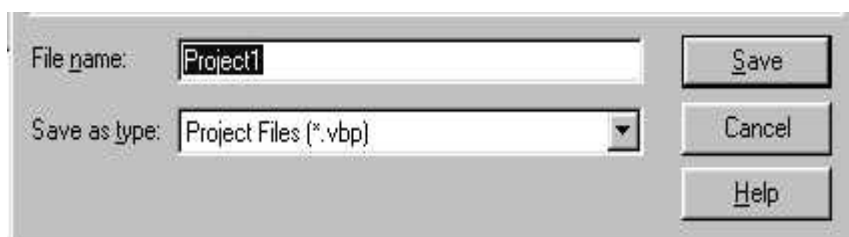
2.11.1.5 Penamaan Proyek

Dalam langkah penamaan ini kita harus menyimpan proyek setelah membuka program Visual Basic. nya, maka akan muncul *form* seperti yang tampak pada gambar berikut :



Gambar 2.32 Kotak Dialog Save Form (Firdaus. 2006)

Untuk memberi nama proyek, pilih menu *File* dan pilih *Save project As* sehingga pada layar akan tampak kotak dialog yang mengharuskan mengisi nama *form* (.frm). Isilah nama *form* dengan “*ConProg1.frm*”, sebagai contoh, pada kotak isian *File name*: setelah terlebih dahulu anda menentukan pada *drive* dan *folder* mana *form* tersebut disimpan.



Gambar 2.33 : Kotak Dialog Save Project (Firdaus. 2006)

Setelah tombol *Save* diklik, pada layar akan tampak kotak dialog yang mengharuskan mengisi nama proyek (.vbp). isilah nama proyek dengan nama “*ConProjek1.vbp*”, sebagai contoh, pada kotak isian *File name* dan klik tombol *Save*. Kemudian pada

layar akan tampak kotak pilihan *Source Code Control* pilih *No* bila proyek yang dibuat tidak akan ditambahkan ke *SourceSafe*.

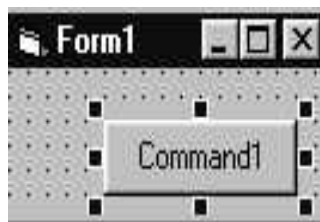


Gambar 2.34 : pilihan Source Code Control (Firdaus. 2006)

2.11.1.6 Membuat *Form* (*User Interface*)

Setelah proyek diberi nama pada layar akan tampak lembar *form* kembali. Untuk membuat *User-Interface* maka membutuhkan *form* sebagai dasar pembuatannya dan *ToolBox* yang berisi berbagai macam kontrol. Langkah-langkah dalam pembuatan *form* adalah sebagai berikut :

- a) Tergantung kebutuhan , klik *CommandButton control* pada *ToolBox* sehingga pointer \uparrow berubah menjadi + pada bidang *form*
- b) Dengan pointer + buat sebuah kotak pada bidang *form*, dengan cara menekan *mouse* tanpa dilepas sambil membuat kotak sebesar yang diinginkan. Lepas *mouse* setelah mencapai besar yang diinginkan. Pada layar akan tampak tampilan seperti gambar dibawah dimana tombol *Command1* diapit oleh delapan kurson bercahaya.



Gambar 2.35 Form dasar (Firdaus. 2006)

- c) Klik bidang *form* di luar bidang tombol *Command1*. Pada sisi luar kanan *form*, klik dan seret kursor ke arah dalam untuk memperkecil *form*.

2.11.1.6 Mengisi Properti

Untuk mengganti tulisan “*Command1*” pada tombol, arahkan pointer ke daftar properti di sebelah kanan layar. Pilih jenis properti *Caption* lalu klik. Klik di awal kata C pada “*Command1*” dan ganti dengan “hitung” misalnya. Perhatikan sewaktu mengetik, hasil ketikan terpampang pula pada tombol tulisan “*Command1*” pada bidang *form*.

Untuk judul prosedur, arahkan pointer ke Daftar Properti, selanjutnya pilih jenis properti “(name)”. Pada isi properti (*Name*) klik kata *Command1* dan ganti dengan kata “ComHitung” (isi nama bebas; mengacu pada tata cara penamaan variabel).

2.11.1.7 Mengetik Program/ Mengisi Kode

Arahkan pointer ke dalam tombol Hitung pada lembar *form*, klik ganda. Pada layar akan tampak tampilan seperti pada gambar terlampir dan kursor berada di dalam statement *Private Sub/End Sub* atau klik *Code Window* pada menu *View*



Gambar 2.36 : Daerah pengetikan program (Firdaus. 2006)

Dalam statement *Private Sub/End Sub*, tulis program berikut ini :


```
Private Sub Command1_Click()
```

```
    A = 20: B = 5: C = A * B
```

```
    Print C
```

```
End Sub
```

2.11.1.8 Menyimpan dan menjalankan Program

Untuk menyimpan Program tekan tombol Ctrl+S atau Klic *icon*  pada *Tool Bar*. Untuk menjalankan Program tekan F5 atau pada menu *Run* pilih *Start*, sehingga muncul tampilan seperti pada gambar di bawah. Tampilan tersebut merupakan tampilan *form* sebagai menu program.

Untuk melihat hasil output, arahkan pointer ke tombol “Hitung” di dalam kotak *window*, kemudian klik tombol hitung itu. Hasilnya terlihat pada gambar di bawah.



Gambar 2.37 : Form Output (Firdaus. 2006)



Gambar 2.38 Output Program (Firdaus. 2006)

Hasil *Run* memperlihatkan nilai 100 yang tampak pada ujung kiri atas *form* dengan tombol Hitung adalah hasil dari statement *Print C*.

Untuk kembali ke asal, klik *Tool Bar* ✕ (*close*)

2.11.1.9 Mengompilasi Program menjadi EXE

Untuk mengompilasi program menjadi *file* tersendiri, klik menu *File* dan pilih menu *Make ConProject1.exe*. Hasilnya akan tampak seperti pada gambar di bawah. Selanjutnya klik tombol *Ok* untuk mengompilasi.



Gambar 2.39 : Kotak dialog *Compile* (Firdaus. 2006)

BAB III

PERANCANGAN SISTEM

Bab ini akan membahas tentang fungsi komponen alat yang digunakan, yang didalamnya memuat prinsip dan cara kerja alat juga akan membahas tentang analisa sistem yang meliputi perangkat keras dan perangkat lunak.

Pada saat melakukan proses analisa ada beberapa langkah yang harus diperhatikan, yaitu :

1. Menentukan spesifikasi perangkat keras alat/sistem
2. Menentukan diagram blok sistem
3. Menentukan Rangkaian digunakan :
 - a. Catu daya
 - b. Driver motor dc
 - c. Motor DC ccw 12V
 - d. ADC 0804
 - e. Rangkaian *frecuency to voltage*
 - f. Rangkain outocopler
 - g. Rangkaian Catu Daya LM317
 - h. Rangkaian op-amp sebagai pengurang tegangan.
 - i. Rangkaian *Pulse witdh modulation*
4. Tahap-tahap perancangan perangkat keras

3.1 Speksifikasi Alat

3.1.1 Speksifikasi Perangkat Keras

Berikut ini merupakan spesifikasi perangkat keras (*Hardware*) yang akan digunakan :

1. Menggunakan rangkaian *power supply* sebagai sumber tegangan.
2. Menggunakan *outocopler* yang dipasangkan ke kipas yang di lubangi dan dipasang kerotor motor dc untuk sistem pengukuran kecepatan motor dc.

3. Menggunakan rangkaian *frekuensi to voltage* untuk mengubah frekuensi ke tegangan.
4. Menggunakan rangkaian ADC 0804 untuk mengkonversi besaran tegangan keluaran dari rangkaian penguat inverting yang berupa besaran analog menjadi besaran digital agar mudah diolah oleh komputer.
5. Menggunakan catu daya dengan tegangan +5 Vdc, +12Vdc -12Vdc.
6. Sumber tegangan untuk motor yaitu regulator 0-12Vdc dan sebuah PWM dengan duty cycle 0-100%.
7. Menggunakan rangkaian amplifer sebagai penurun tegangan
8. Menggunakan schmitt trigger untuk membuat sinyal keluaran sensor optocoupler menjadi gelombang kotak.

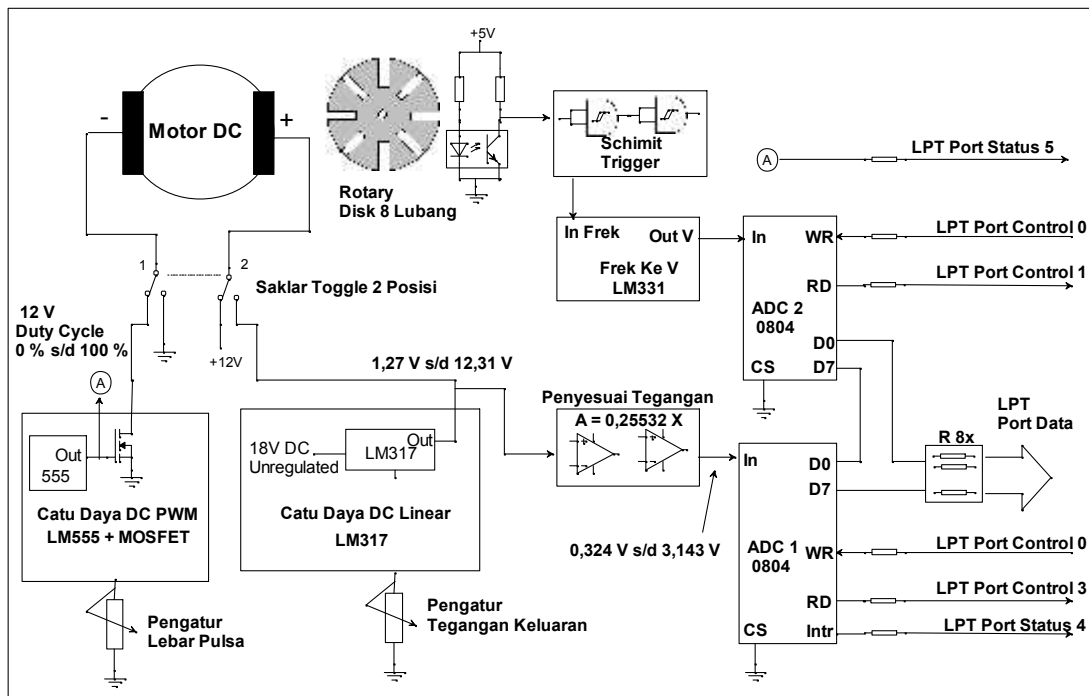
3.1.2 Speksifikasi Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak untuk PC (*personal Computer*) menggunakan *software Visual Basic. 6.0*.

3.1.2.1 Diagram Blok dan Prinsip Kerja Sistem

Alat yang dibuat terbagi menjadi beberapa bagian terpisah yaitu sensor, rangkaian penguat awal, rangkaian pengkondisi sinyal, rangkaian ADC 0804, perantara (I/O), dan *personal Computer* (PC) termasuk didalamnya perangkat lunak dengan menggunakan *Visual Basic. 6.0*.

Sebagai sensor kecepatan putaran motor digunakan *autocoupler* yang dipasang pada kipas pada rotor motor dc. Selanjutnya masuk ke rangkaian *frekuensi to poltage* dan selanjutnya ke rangkain ADC. Rangkaian pengkondisi sinyal ini untuk membuat sinyal analog dapat diolah dengan baik oleh ADC menjadi sinyal digital yang nantinya melalui perantara I/O masuk ke PC.



Gambar 3.1 Diagram Blok Alat

3.1.2.2 Perancangan ADC 0804

Rangkaian ADC berfungsi untuk mengkonversi besaran tegangan keluaran dari rangkaian penguat inverting yang berupa besaran analog menjadi besaran digital. Rangkaian ini digunakan agar bisa diolah oleh komputer.

Komponen ADC yang digunakan adalah IC 0804 yang mempunyai dua bit jalur masukan (*input*) dan 8 bit jalur keluaran (*output*).

Sinyal WR ADC1 dan ADC2 di kendalikan oleh komputer melalui port parallel port C0 , dengan memberikan transisi naik ADC terinisialisai, di ikuti pulsa transisi turun, ADC mulai melakukan konversi. Selama proses konversi pin INTR ADC1 dan ADC2 menjadi “low” dan jika konversi sudah lengkap pin Intr ADC menjadi “high”.

Untuk membaca hasil konversi kedua ADC di lakukan secara bergantian dengan menjadikan pin RD “low” dari ADC yang akan di baca.

Besaran tegangan referensi yang digunakan adalah 5 volt sehingga didapatkan resolusi ADC 19,53 mV dengan perhitungan sebagai berikut :

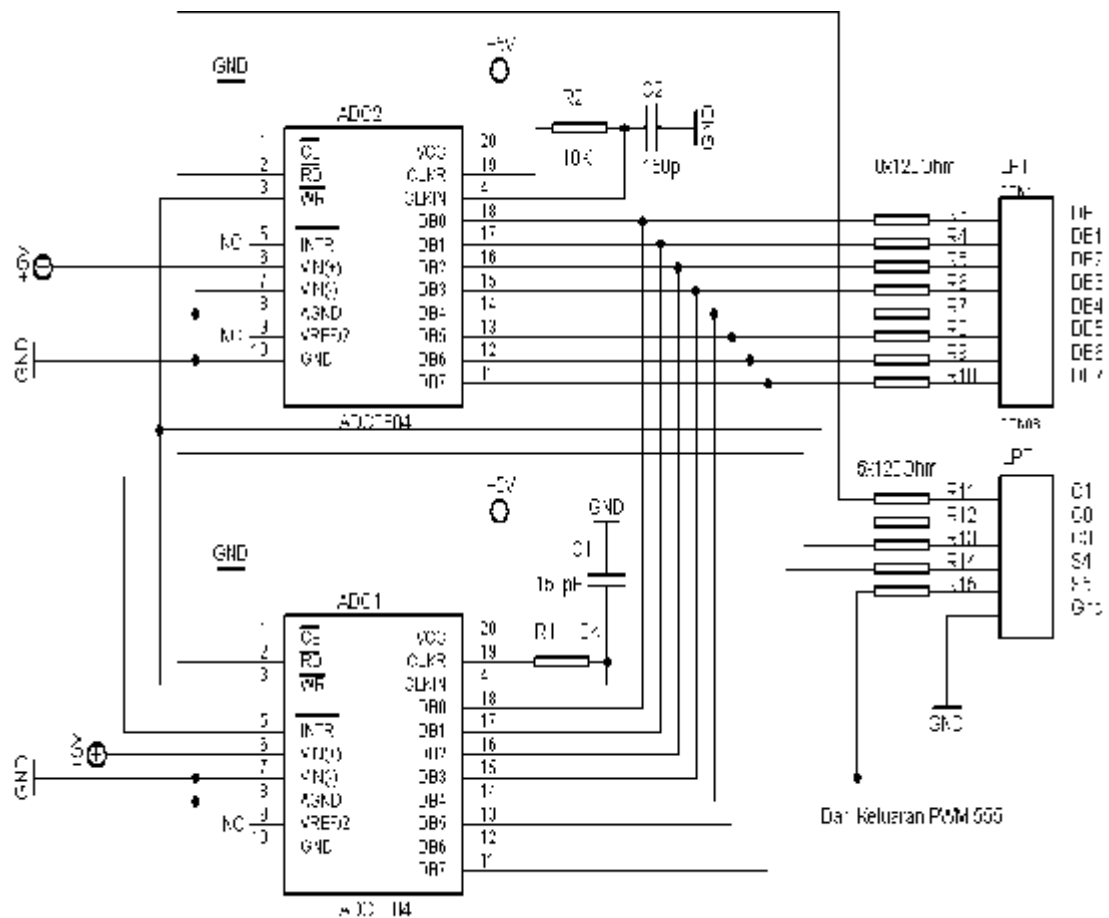
$$Resolusi_{ADC} = \frac{V_{ref}}{2^n}$$

Keterangan :

n : banyaknya bit keluaran (8 bit)

Vref : tegangan referensi yang digunakan

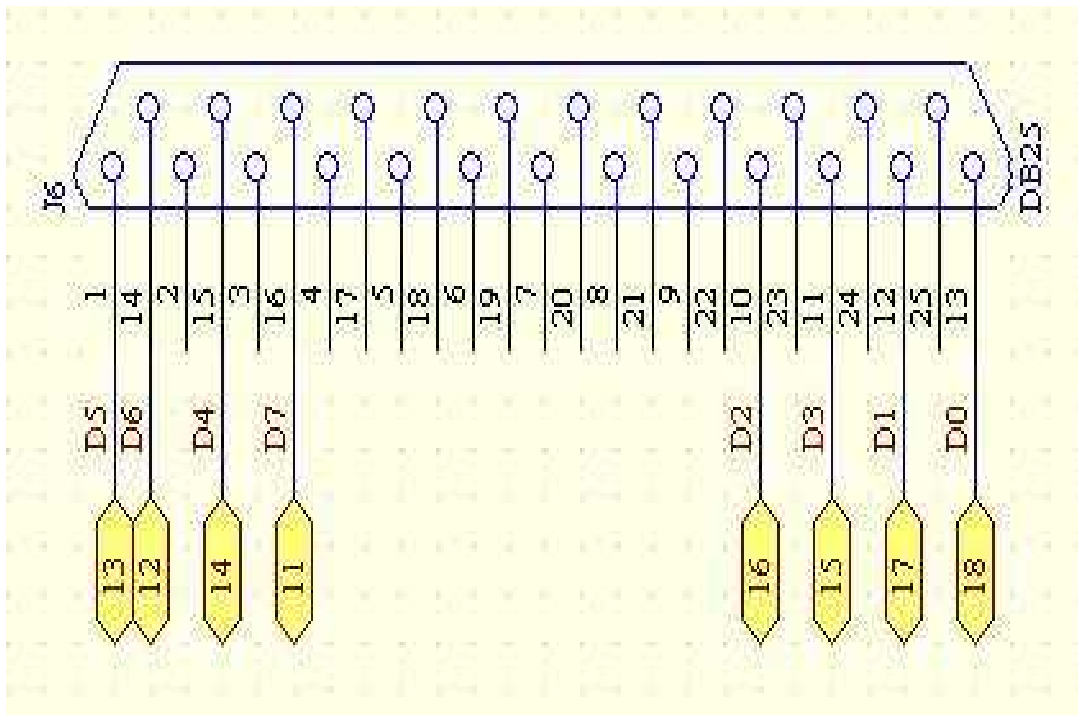
Resolusi ini menunjukkan tegangan minimum yang dapat dikonversi oleh rangkaian ADC sebesar 19,53 mV. Gambar 3.5 berikut ini merupakan gambar dari rangkaian ADC 0804.



Gambar 3.2 Rangkaian ADC 0804

3.1.2.3 Interface dengan Port Parallel

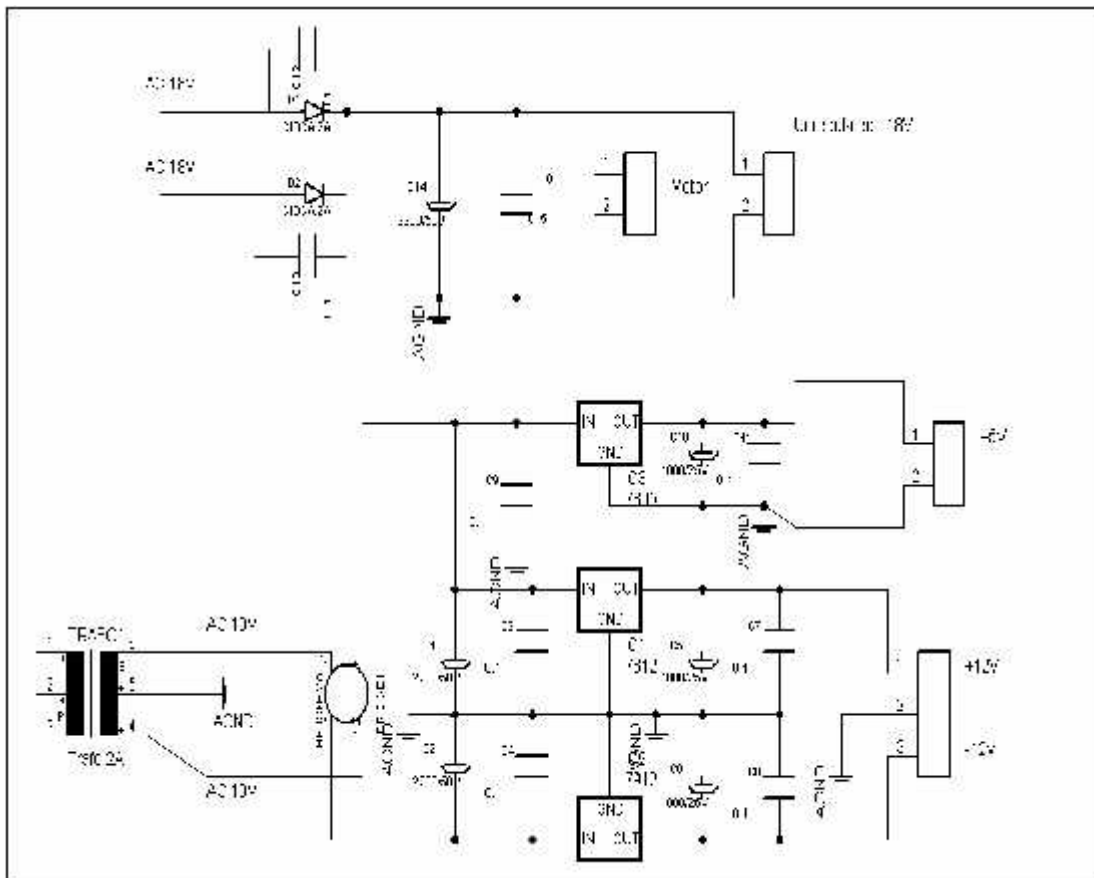
Pada bagian *interface* ini mempergunakan *port parallel* sebagai media *interface* nya. *Port parallel* menerima 8 bit keluaran dari ADC 0804, disini *Port parallel* menggunakan 2 bit *port status* dan 3 bit *port control*. Kaki *Port parallel* yang digunakan adalah sebagai berikut : Agar lebih jelas bisa dilihat langsung rangkaianannya pada gambar 3.2.1.1



Gambar 3.3 Rangkaian *Port Parallel*

3.1.2.4 Rangkaian Catu Daya

Tegangan yang diperlukan untuk seluruh rangkaian adalah 0 dan 15. tegangan ini diperoleh dari rangkaian catu daya dengan menggunakan IC regulator 7805, 7812 dan 7912 serta sebuah catu daya 18V tidak teratur. Berikut adalah gambar rangkaian catu daya.

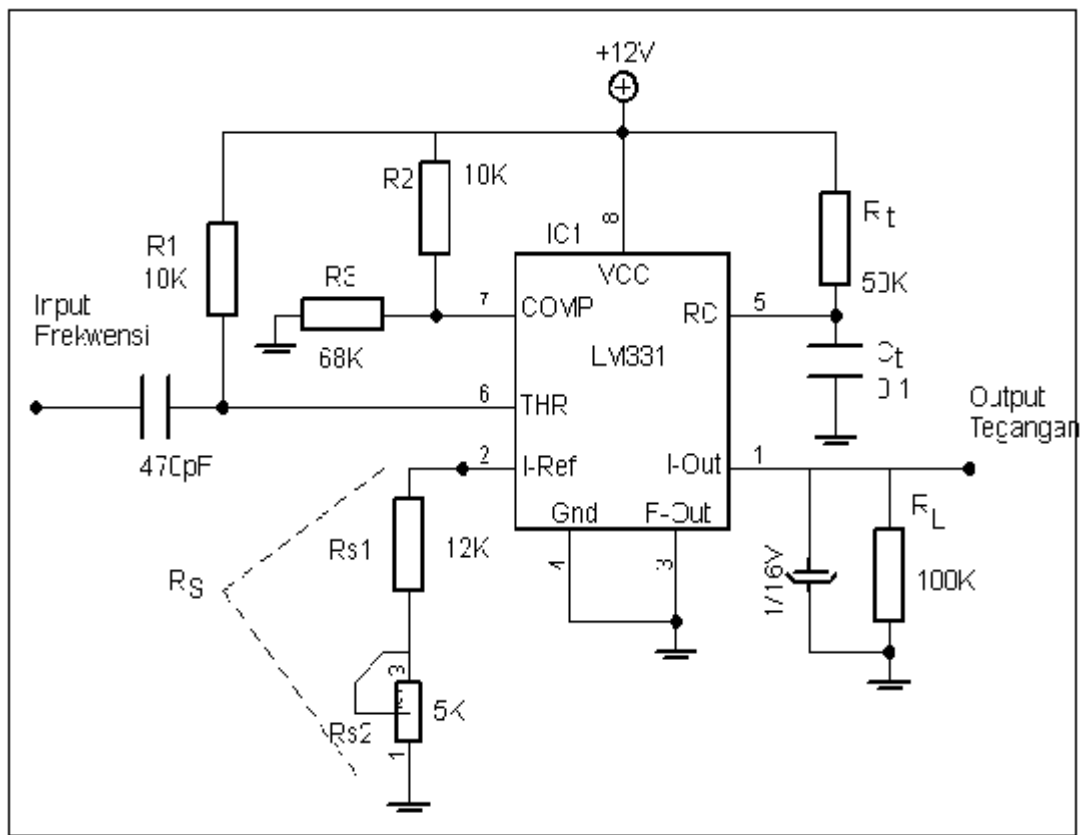


Gambar 3.4 Rangkaian Catu Daya

3.1.2.5 Frequency To Voltage

Perancangan rangkaian pengubah dari frekuensi ke tegangan. Rangkaian tersebut mewakili tachometer sebagai pengukur kecepatan putar rotor. Rangkaian *frequency to voltage* menggunakan IC LM 331 dengan mengacu kepada lembar data sheet yang didapat dari www.datasheetcatalog.com

Perancangan rangkaian pengubah dari *Frequency To Voltage* memerlukan tegangan input 15 volt dc. Input untuk rangkain ini di ambil dari keluaran dari rangkaian *autocopler* yang dipasang ke konter dari putaran motor dc, dan output dari rangkaian ini akan di olah menjadi sinyal digital oleh rangkaian adc 0804 dan diteruskan ke personal komputer dengan menggunakan program *Visual Basic. 6.0*.



Gambar 3.5 Rangkaian *frequency to volage*

$$V_{out} = F_{in} \times 2.09 \times \frac{R_L}{R_S} (R_t \times C_t)$$

$$R_L = 100K \quad R_t = 6k8$$

$$R_S = 5K \quad C_t = 0,1\mu F$$

Keluaran Ic LM331 di ubah oleh ADC menjadi data digital, dengan diketahui keluaran LM331 maka putaran perminut dari motor dapat dicari dengan rumus

$$RPM = \{V_{out} / (2.09V \times \frac{R_L}{R_S} \times (R_t \times C_t)) \times 60\} / 8$$

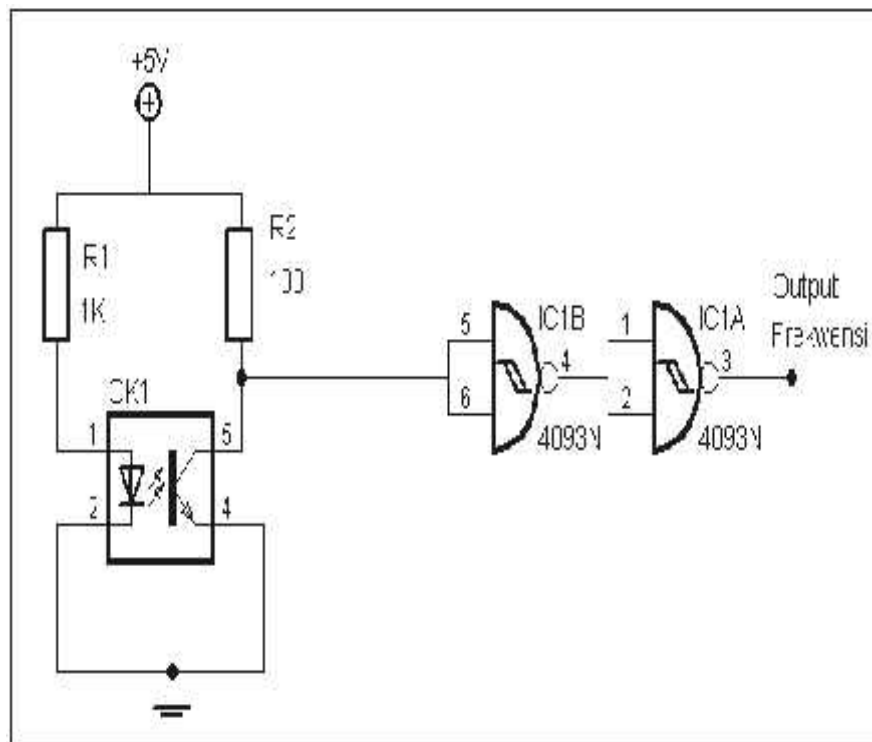
*60 = mengubah dari detik keminut.

*8 = Jumlah lubang dari piringan

3.1.2.6 Rangkaian Sensor Optocoupler

Sensor Optocoupler adalah salah satu jenis sensor sinar yang sangat banyak digunakan untuk aplikasi di industri. Sensor ini biasanya terdiri dari dua bagian yaitu led *infrared (receiver)* dan fototransistor (*transmitter*).

Jumlah sensor optocoupler yang digunakan adalah satu buah dan sangat menentukan dalam proses pengukuran kecepatan putaran motor dc. Sensor digunakan untuk menerima sinyal dari putaran kipas dan ditempatkan pada piringan yang berlubang (*shaft encoder*). Sinyal didapat dari pembacaan sensor yang apabila mengenai lubang pada piringan yang berputar.



Gambar 3.6 Rangkaian Sensor Optocoupler

Jika sinar infra merah mengenai lubang (sensor tidak terhalang) maka pada basis transistor sensor tidak mendapat tegangan bias mengakibatkan arus kolektor dan arus emitter sangat kecil dan bisa dianggap 0A. Karena arus kolektor dan emiter 0A

menyebabkan tegangan pada R2 menjadi 0V ($VR_2 = I_C \cdot R_2$). Dengan demikian tegangan kolektor menjadi mendekati 5V ($V_C = V_{CC} - VR_2$).

Sebaliknya jika sinar infra merah tidak mengenai lubang (sensor terhalang) maka pada basis transistor sensor terdapat tegangan bias yang mengakibatkan arus ada sejumlah arus yang mengalir pada kolektor dan emitter. Karena ada arus kolektor dan emitter menyebabkan tegangan pada R2 menjadi mendekati 5V ($VR_2 = I_C \cdot R_2$). Maka dengan demikian tegangan kolektor menjadi mendekati 0V ($V_C = V_{CC} - VR_2$).

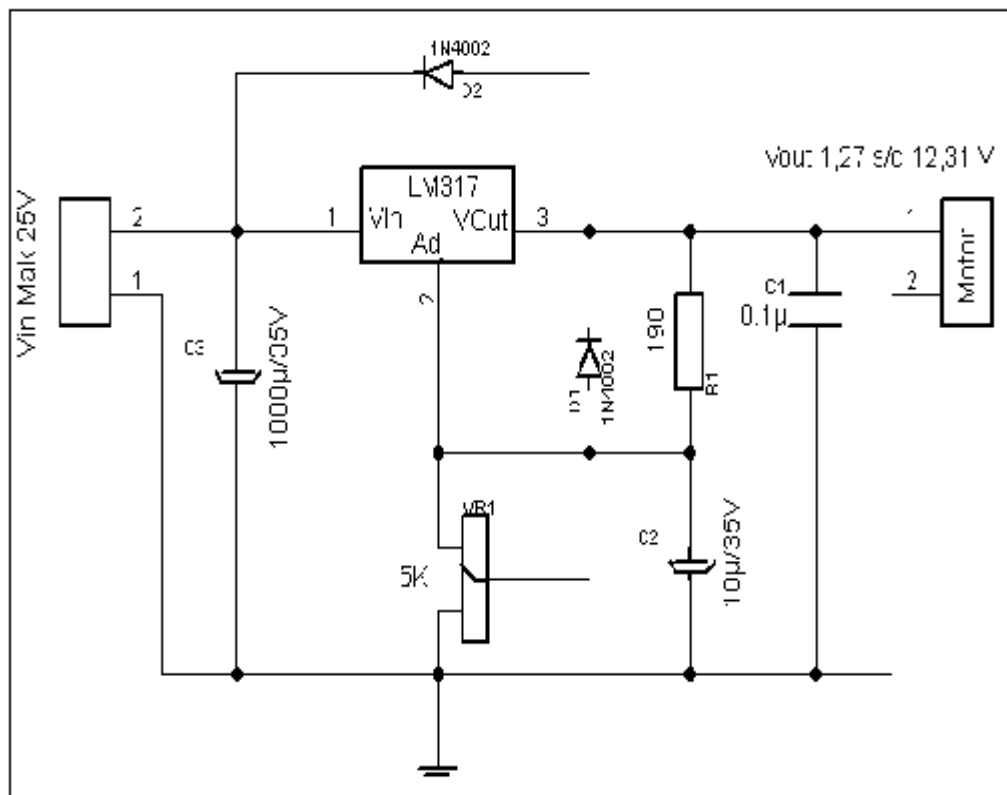
Keluaran sensor menjadi rendah (0V) aktif dan menghasilkan pulsa positif dan saat sensor tidak mengenai lubang (sensor terhalang) maka sensor optocoupler tidak aktif dan menghasilkan pulsa negatif. Oleh karena itu, sensor menghasilkan sinyal frekuensi yang diterima dari putaran kipas berupa sinyal kotak-kotak / persegi.

Prinsip kerja dari sensor optocoupler ini adalah sebagai berikut: pada saat motor dc diberi sumber tegangan maka piringan yang berlubang juga berputar, dan sensor akan aktif apabila terkena lubang pada piringan. Sedangkan pada saat benda telah melewati sensor, maka sinyal yang dihasilkan oleh rangkaian sensor adalah 0 (± 0 Volt). Dan pada saat mengenai lubang *shaft encoder* (cahaya *infrared* mengenai fototransistor) maka sinyal pada rangkaian sensor adalah 1 (± 5 Volt).

Dua gerbang NAND di rangkain menjadi gerbang-gerbang pembalik yang keduanya merupakan schimit trigger. Sebagai schimit trigger berguna untuk mencegah gangguan-gangguan (noise) pada keluaran optocoupler yang dapat menyebabkan salah pengukuran. Schimit trigger menjamin keluaran rangkaian ini adalah gelombang kotak.

3.1.2.7 Catu Daya Variabel LM317

Catu daya ini di gunakan sebagai salah satu sumber tegangan bagi motor dc, yang keluarannya dapat di atur dari 1,27V sampai dengan 12,31V.



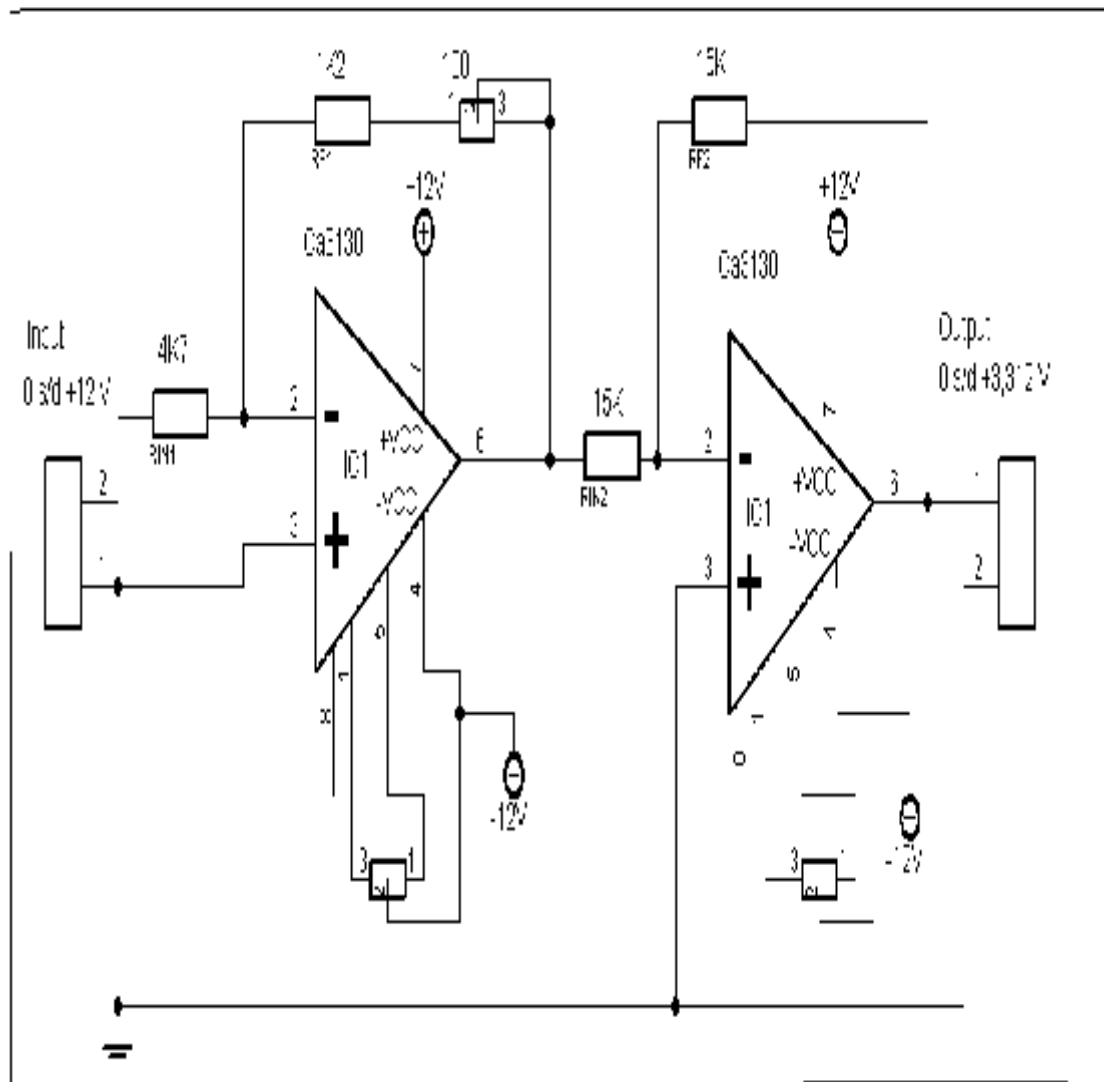
Gambar 3.7 Rangkaian Catu Daya LM317

Rangkain ini berfungsi untuk mengatur kecepatan putaran motor dc dan sekaligus untuk saklar on/off motor. Pengaturan kecepatan dilakukan secara manual dengan menggunakan potensisiometer 5 Kohm.

3.1.2.8 Rangkaian Penurun Tegangan.

Rangkain ini digunakan untuk menurunkan tegangan yang di ambil dari *output* driver motor dc untuk rangkain ADC1 yang digunakan untuk mengukur tegangan yang masuk ke motor dc.

Rangkain ini di buat karena tegangan output driver melebihi kemampuan ADC0804 . untuk menurunkan tegangan digunakan rangkaian amplifer yang menggunakan IC CA3130.



Gambar 3.8 Rangkaian penurun tegangan.

$$V_{out1} = V_{in1} \left(-\frac{R_{F1}}{R_{in1}} \right)$$

$$V_{out2} = V_{in2} \left(-\frac{R_{F2}}{R_{in2}} \right)$$

$V_{in1 \text{ Mak}} = 12,31 \text{ Volt}$

$$V_{out1\ Mak} = V_{in1\ Mak} \left(-\frac{1K2}{4k7} \right)$$

$$V_{out1\ Mak} = 12.31 * -0.255319149$$

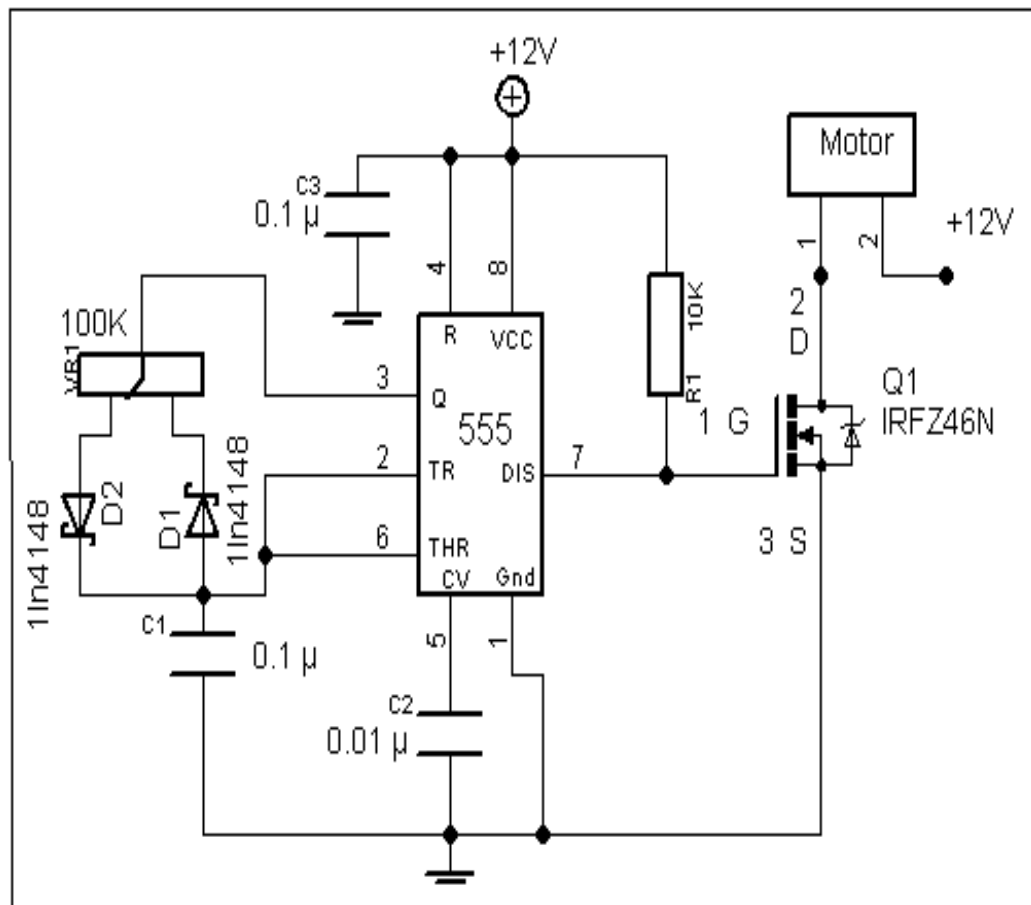
$$V_{out1\ mak} = -3.143$$

$$V_{out2\ Mak} = V_{out1\ Mak} \left(-\frac{15K}{15K} \right)$$

$$V_{out2\ Mak} = -3.143 * -1$$

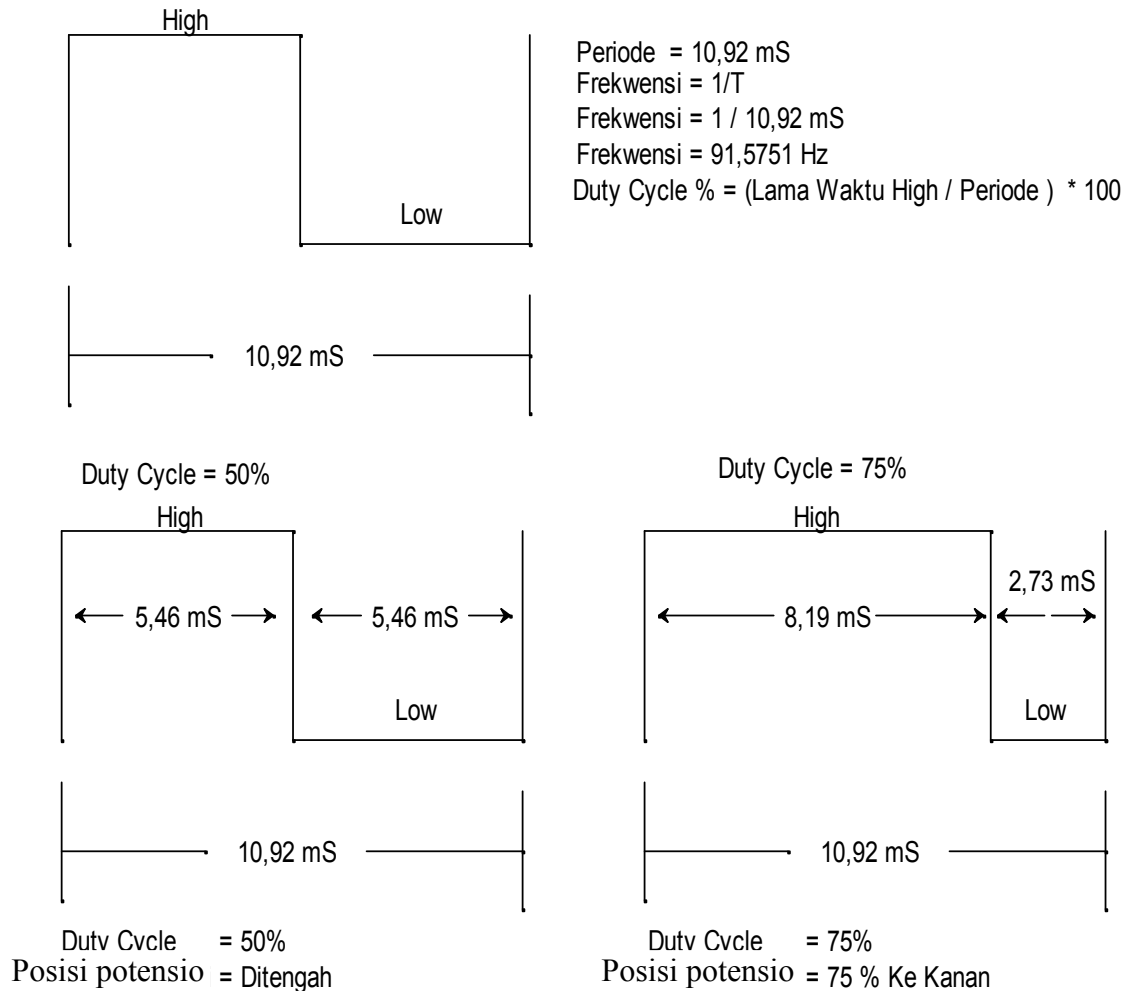
$$V_{out2\ Mak} = 3.143$$

3.1.2.8 Rangkaian Pulse width modulation



Gambar 3.9 Gambar 3 Skema PWM

Bentuk Sinyal PWM dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 3.10 Gambar Sinyal PWM

3.1.3 Perancangan Perangkat Lunak

Pada bagian perangkat lunak ini menggunakan program Visual Basic. 6.0 perancangan perangkat lunak terdiri dari sebuah *form* dan beberapa modul, modul modul yang di gunakan adalah sebagai berikut :

1. Modul ADC

Digunakan untuk melakukan proses konversi ADC

2. Modul Input

Digunakan untuk menjebatani antara rangkaian dengan komputer.

3. Modul SensorRPM

Digunakan untuk menghitung nilai RPM motor.

4. Modul PWM

Digunakan untuk menghitung lebar pulsa keluaran PWM.

5. Modul Input

Digunakan untuk membuat grafik hasil pengukuran.

6. Modul Lainnya

Adalah modul pendukung.

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA

Setelah perancangan dan pembuatan sistem maka langkah selanjutnya yaitu melakukan pengujian alat dan analisa terhadap perangkat keras yang telah dibuat. Pengujian ini dilaksanakan untuk mengetahui apakah perangkat sudah bekerja sesuai dengan perancangan yang telah direncanakan. Pengujian perangkat keras terdiri dari: Pengujian *power supply*, ADC 0804, Rangkaian *Frequency To Voltage*, pengujian *autocopler* sensor kecepatan.

4.1. PENGUJIAN PERANGKAT *POWER SUPPLY*

Pengujian rangkaian catu daya (*Power Supply*) bertujuan untuk mengetahui dan memastikan tegangan keluar (V_{out}) sesuai yang dengan yang diinginkan. Jika tidak, maka bisa saja rangkaian elektronika yang akan diberikan tegangan tidak akan bekerja dengan baik, bahkan dapat menyebabkan kerusakan.

Pada pengerjaan proyek Tugas Akhir ini digunakan *regulator* sebagai *filter* dan menstabilkan tegangan keluaran yang akan diberikan (*input*) pada rangkaian elektronika tersebut. Peralatan pendukung yang digunakan berupa multi meter digital dan analog.

Tabel 4.1 : Pengujian IC *regulator*

IC <i>regulator</i>	Vout
7805	4.96
7812	11.84
7912	-11.80



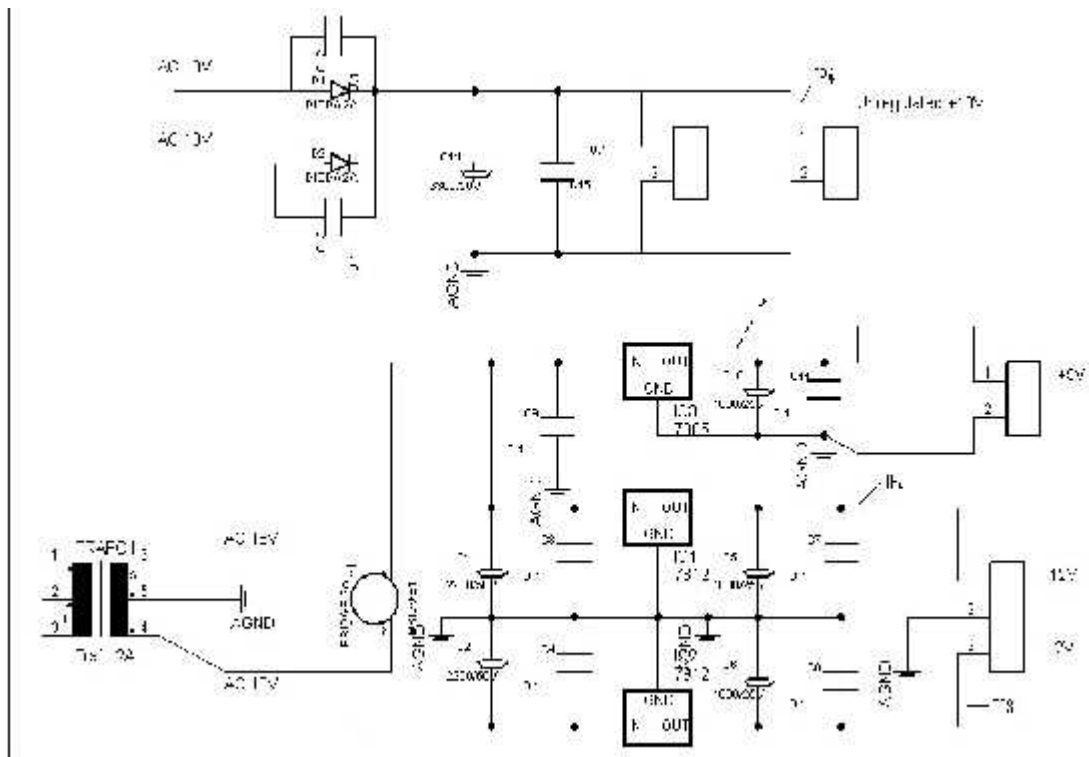
Gambar 4.1 : Vout Ic 7805



Gambar 4.2 : Vout Ic 7812



Gambar 4.3 : Vout Ic 7912



Gambar 4.4 : pengujian perangkat power suplay

4.2 PENGUJIAN ADC 0804

Pengujian kit ADC 0804 dimaksudkan untuk mengecek apakah data yang dimasukkan (*input*) dan dikeluarkan (*output*) ke komputer sesuai dengan deskripsi kerja sistem.

Pengujian di lakukan dengan memberikan tegangan 0V, 2,5V dan 5V ke input ADC dan melihat hasil konversi di layar komputer dan hasilnya disajikan pada tabel di bawah.

Tabel. 4.2 : Pengujian ADC 0804

Tegangan Input ADC (V)	Hasil konversi (Biner)	Hasil Konversi (Desimal)
0V	0000 0000	0
2,52V	1111 1110	127
4.97V	1111 1111	255

Dari hasil pengujian dapat di analisa bahwa perbandingan antara tegangan input dengan *output* pada ADC0804 yaitu secara linier. Untuk menaikkan satu hitungan bit biner memerlukan tegangan *input* 0,02vDC, dan untuk menaikkan delapan byte biner ADC0804 memerlukan tegangan input 5.1 vDC.



Gambar 4.5 Pengujian ADC pada Vin 0V



Gambar 4.6 : Pengujian ADC pada Vin 2.52V

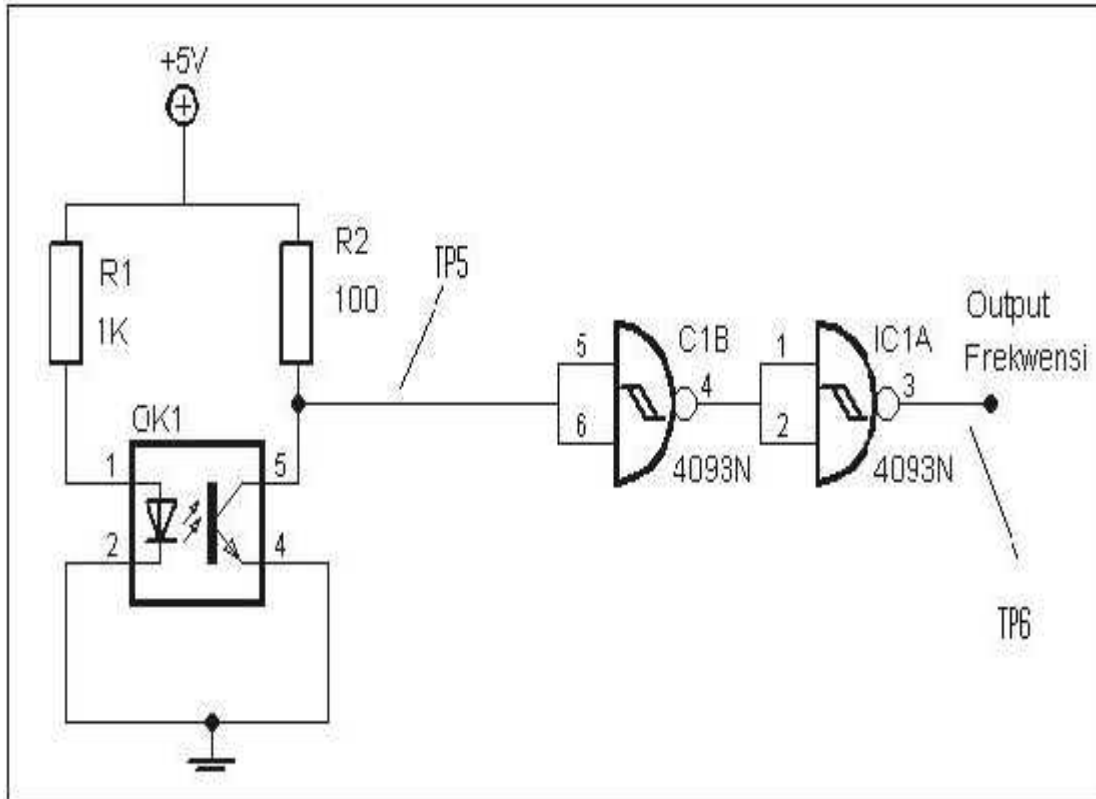


Gambar 4.7 : Pengujian ADC pada Vin 4.97V

4.3 Pengujian Rangkaian Sensor *Optocoupler*

Pengujian rangkaian sensor Optocoupler ini bertujuan untuk memastikan rangkaian bekerja dengan baik dan mengetahui seberapa sensitifnya sensor tersebut. Sensor Optocoupler bekerja sesuai dengan kondisi pada lempengan piringan. Jika sensor mengenai lubang maka output yang dihasilkan berlogika rendah (0), jika sensor tidak mengenai lubang maka output yang dihasilkan berlogika tinggi (1). Hal

ini disebabkan transistor pada optocoupler yang bekerja sebagai pembalik seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Peralatan yang digunakan adalah multimeter analog / digital. Prosedur pengujiannya dilakukan dengan cara menghubungkan kabel dari multimeter digital dengan *output* sensor TP5. Kemudian cahaya LED *Receiver* yang menuju *Transmitter* phototransistor yang terdapat pada optocoupler dihalang-halangi menggunakan kertas.



Gambar 4.8 pengujian Rangkaian Sensor Optocoupler

Tabel 4.3 : Hasil pengukuran rangkaian *Optocoupler* dan *Schmitt tringger*

Rangkaian <i>Optocoupler</i>		Rangkaian <i>Schmitt tringger</i>	
Kondisi sensor	Vout	Kondisi sensor	Vout
Dihalangi	4.87	Dihalangi	4.96
Tidak dihalangi	0.30	Dihalangi	0.00

Berdasarkan data hasil pengujian diketahui bahwa hasil dari *output* rangkaian sensor optocoupler telah sesuai dengan yang diinginkan. Saat sensor dihalangi (cahaya LED tidak mengenai fototransistor) maka *output* sensor adalah 4,87V Saat sensor tidak dihalangi, maka *output* sensor adalah 0,401V.



Gambar 4.9 : Vout *Optocoupler* pada saat sensor dihalangi



Gambar 4.10 : Vout *Optocoupler* pada saat sensor tidak dihalangi



Gambar 4.11 Vout *Schmitt trigger* pada saat sensor tidak dihalangi



Gambar 4.12 Vout *Schmitt trigger* pada saat sensor dihalangi

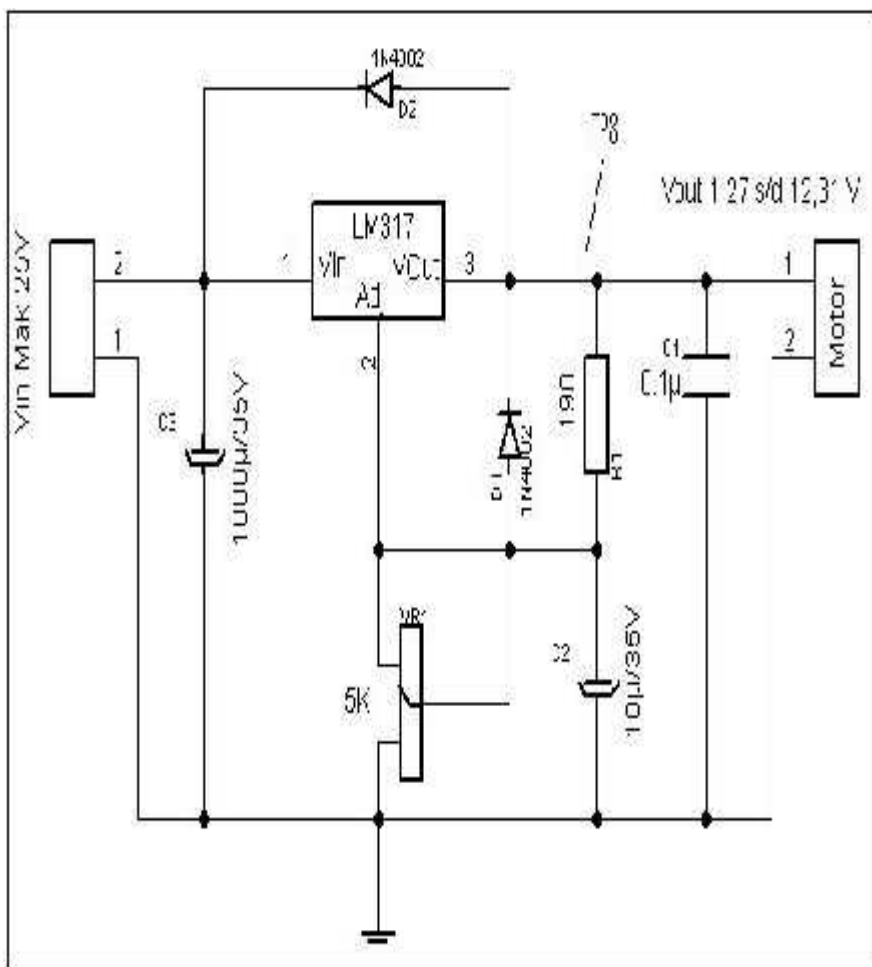
4.4 PENGUJIAN RANGKAIAN *LM317*

Pengujian rangkaian *LM317* untuk mengetahui apakah rangkaian yang telah terhubung dengan motor DC dapat bekerja dengan baik atau belum, Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Rangkaian *LM317* yang telah dibuat
2. Multitster *analog/digital*

Langkah – langkah pengujian rangkaian *LM317* adalah sebagai berikut :

1. Memastikan bahwa semua jalur telah tersambung dengan benar dan semua komponennya telah terpasang dengan sempurna.
2. Menghubungkan *power supply* sebagai Tegangan catu rangkaian.
3. Memutar Potensio VR1 ke posisi terendah, kemudian mengukur tegangan keluaran rangkaian LM317 (TP 8).
4. Memutar Potensio VR1 ke posisi tertinggi, kemudian mengukur tegangan keluaran rangkaian LM317 (TP 8).



Gambar 4.13 : Pengujian rangkain *LM317*

Dari Hasil pengukuran langkah 1 s/d 4 di dapat hasil seperti tabel 4.4

Tabel 4.4 : Hasil pengujian *LM317*

Vout Rangkaian Lm317			
Pengukuran manual		Pengukuran DI PC	
Minimal	Maksimal	Minimal	Maksimal
1.22	12.24	1.27	12.31

Dari tabel diatas dapat di analisa bahwa rangkain LM317 bekerja sesuai dengan yang di inginkan.



Gambar 4.15 : Hasil Vout Minimal LM317 pada pengukuran manual



Gambar 4.16 : Hasil Vout Maksimal LM317 pada pengukuran manual

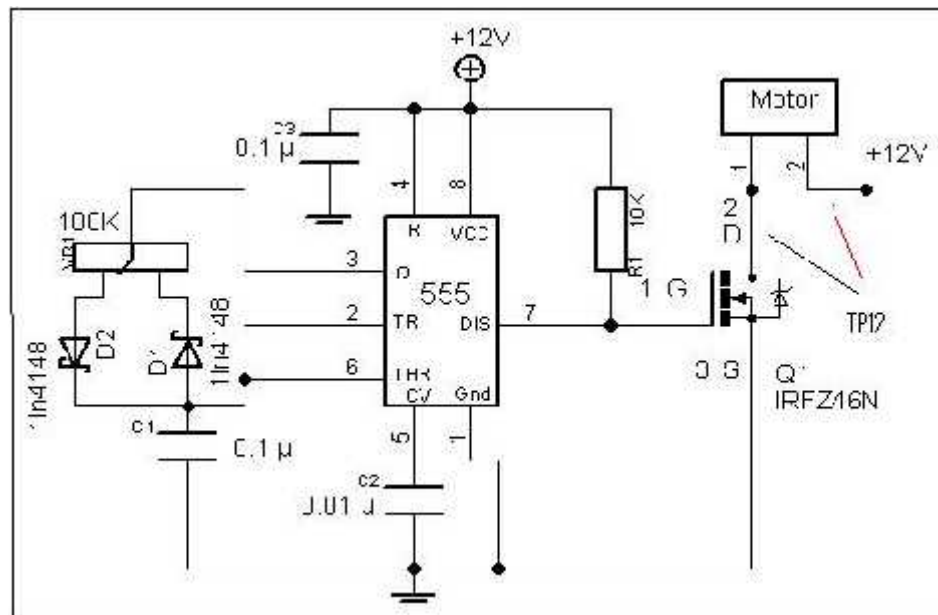
4.5 PENGUJIAN RANGKAIAN *PWM*

Pengujian rangkaian *PWM* untuk mengetahui apakah rangkaian yang telah terhubung dengan motor DC dapat bekerja dengan baik atau belum, Peralatan yang digunakan antara lain:

1. Rangkaian *PWM* yang telah dibuat
2. Multitster *analog/digital*

Langkah – langkah pengujian rangkaian *PWM* adalah sebagai berikut :

1. Memastikan bahwa semua jalur telah tersambung dengan benar dan semua komponennya telah terpasang dengan sempurna.
2. Menghubungkan *power supply* tidak teratur DC 12V Volt sebagai tegangan catu rangkaian.
3. Memutar Potensio VR1 ke posisi terendah, kemudian mengukur tegangan keluaran rangkaian PWM (TP12).
4. Memutar Potensio VR1 ke posisi tertinggi, kemudian mengukur tegangan keluaran rangkaian PWM (TP12).



Gambar 4.17 : Pengujian rangkaian PWM

Hasil pengukuran rangkaian PWM di dapat hasil seperti tabel x :

Tabel 4.5 : Pengujian rangkaian PWM

NO	Posisi VR1	Tegangan Keluaran	Lebar Pulsa	
			<i>High</i>	<i>low</i>
1	Terendah	0 V	0 mS	10,92 mS
2	Tertinggi	11.91 V	10,92 mS	0 mS

Dari tabel diatas dapat di analisa bahwa rangkain LM317 bekerja sesuai dengan yang di inginkan.



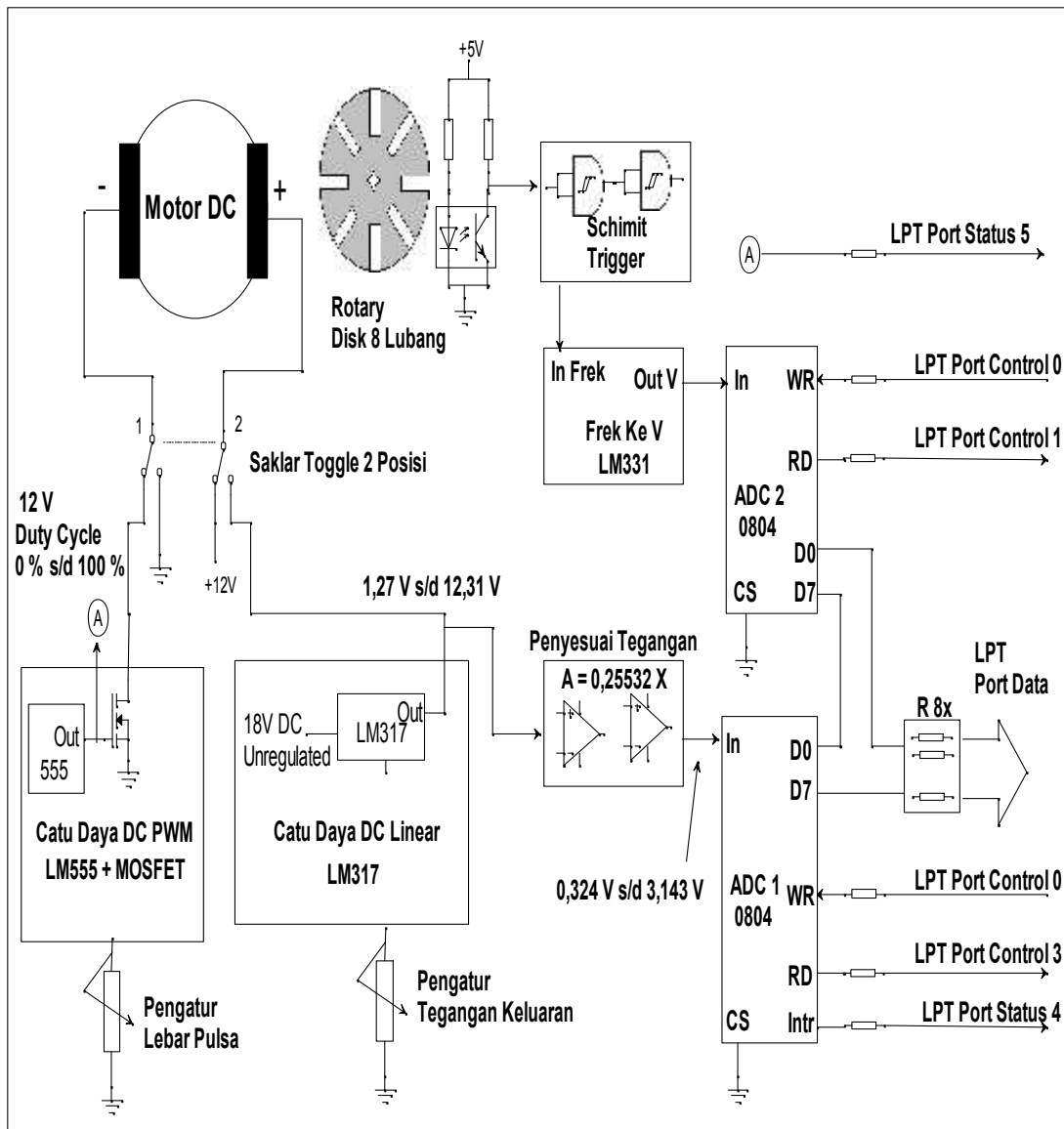
Gambar 4.18 Hasil Vout minimal rangkaian PWM



Gambar 4.19 Hasil Vout minimal rangkaian PWM

4.6 PENGUJIAN *PROTOTYPE* SECARA KESELURUHAN

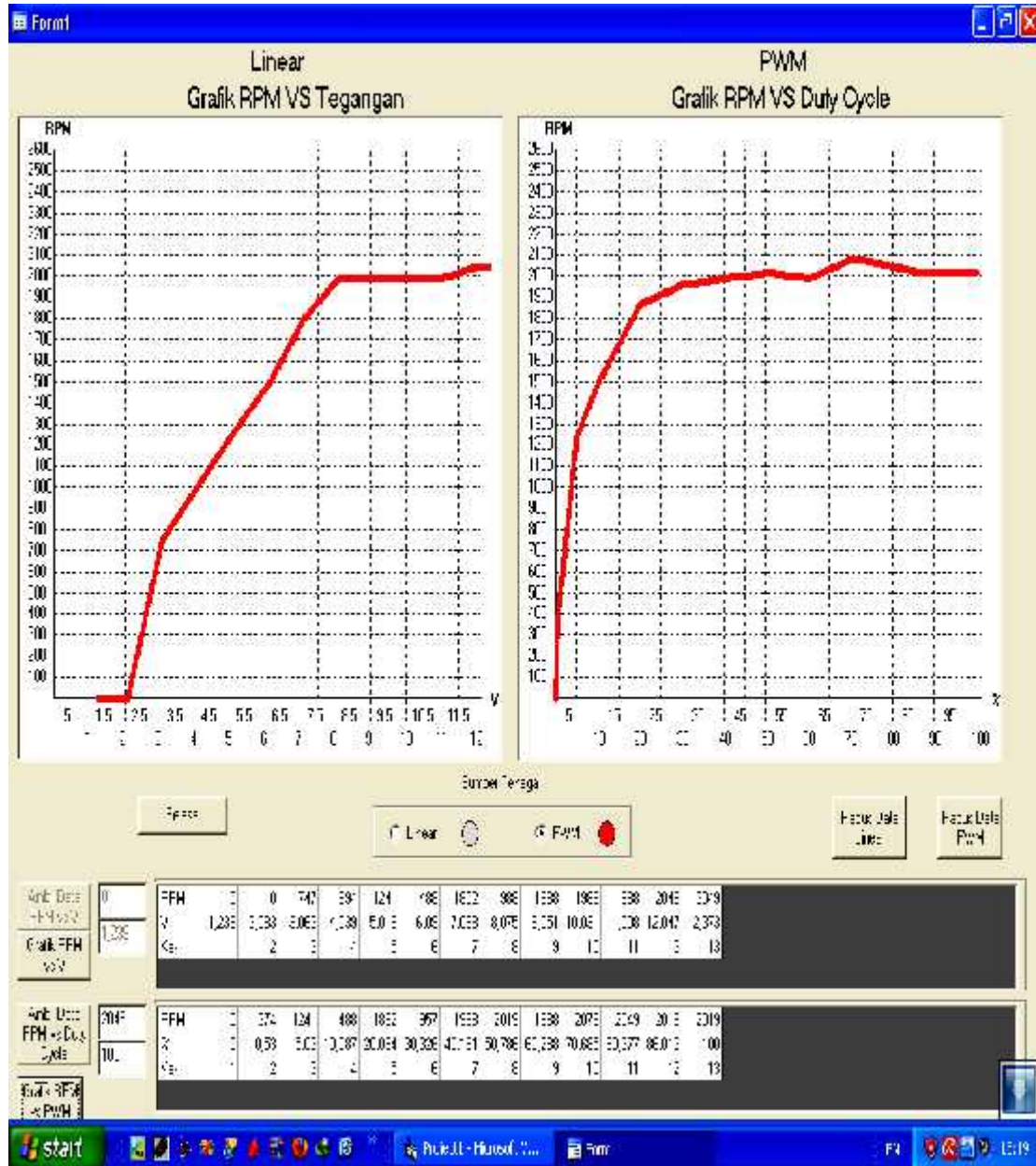
Pengujian *prototype* secara keseluruhan bertujuan untuk melihat apakah *prototype* yang telah dibangun bekerja dan melaksanakan fungsinya sesuai dengan perancangan kerja sistem. Untuk pengujian *prototype* ini dilaksanakan dengan cara langkah-langkah yang mengacu pada *flowchart* kerja *prototype* secara umum yang dapat kita lihat pada gambar 4.3



Gambar 4.20 : Pengujian *Prototype* Secara Keseluruhan

4.6 HASIL DAN ANALISA SECARA KESELURUHAN.

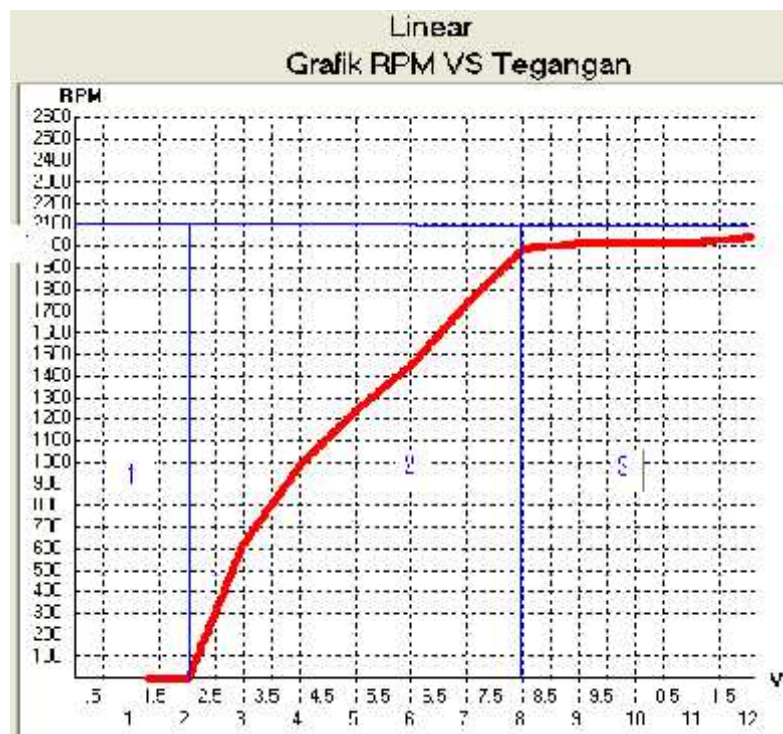
Bentuk grafik pengaturan kecepatan motor dari tegangan input minimum hingga tegangan input maksimum secara manual dan pengaturan dengan menggunakan pulse width modulation dapat di lihat pada Grafik di bawah ini:



Gambar 4.21 : Hasil dan analisa secara keseluruhan dengan pengaturan kecepatan dari tegangan minimum ke maksimum.

Pengaturan kecepatan motor dengan manual dan PWM yaitu dengan cara merubah tegangan input motor DC dilakukan menggunakan potensiometer. Kecepatan putaran motor akan diukur dengan menggunakan sensor *autocorpler* yang berupa frekuensi, frekuensi ini diubah dalam bentuk tegangan menggunakan rangkaian *frequency to voltage* kemudian tegangan output dari rangkaian *frequency to voltage* ini dirubah dalam bentuk bilangan biner menggunakan rangkaian aDC 0804 dan kemudian di tampilkan ke monitor komputer.

4.6.1 Analisa pengukuran Rpm dengan cara manual

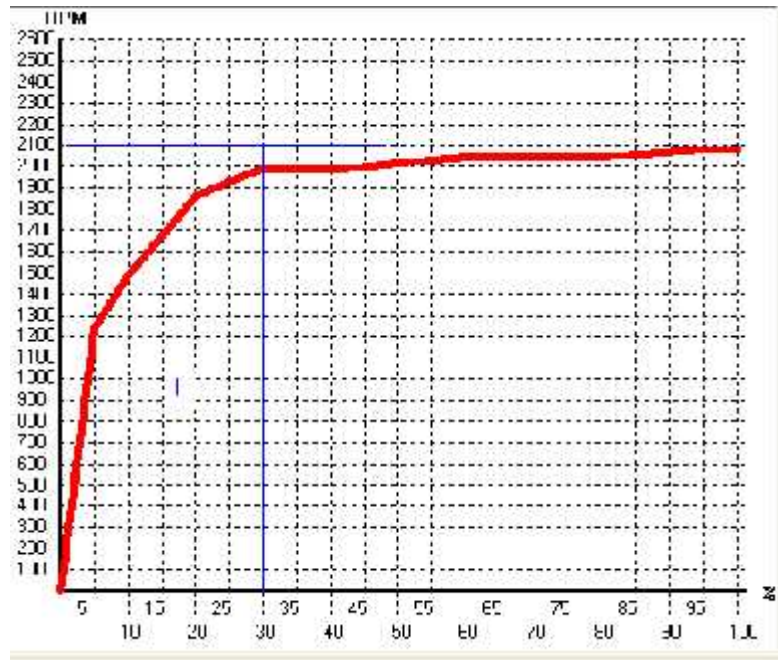


Gambar 4.23 : pengukuran RPM dengan cara manual.

Pengukuran kecepatan motor dengan memberikan sumber tegangan secara langsung, dapat dilihat pada grafik 4.9 di atas, grafik tersebut dibagi menjadi blok yaitu:

1. Blok1 dimana motor DC 12V belum berputar jika di berikan tegangan *input*.
0V hingga 2.8V.
2. Blok2 dimana Rpm motor DC 12V akan naik secara linier jika di berikan tegangan input 2.9V hingga 8VDC.
3. Blok3 dimana Rpm motor akan naik secara perlahan bila diberikan sumber tegangan 8V hingga 12VDC, hal ini di sebabkan karena pada motor jenis ini terdapat rangkaian yang berfungsi untuk penstabil putaran.

4.6.2 Analisa pengukuran Rpm dengan PWM



Gambar 4.24 : pengukuran RPM dengan cara PWM

Pengukuran kecepatan motor dengan menggunakan *pulse width modulation*, dapat dilihat pada gambar 4.10 di atas, grafik tersebut dibagi menjadi blok yaitu:

1. Blok1 dimana motor DC Mulai berputar jika di berikan sumber PWM 0,5% dan grafik naik secara linier sampai input PWM 30%.
2. Blok2 dimana Rpm motor DC akan naik secara perlahan jika di berikan PWM 30% hingga 100%.

Tabel 4.6 : Perbandingan pengaturan kecepatan motor menggunakan PWM dengan pengaturan kecepatan secara manual.

Pengaturan kecepatan dengan PWM			Pengaturan kecepatan secara manual	
Konversi PWM ke tegangan		Rpm	Vin (Volt)	Rpm
PWM (%)	Vin (Volt)			
0	0	0	1.23	0
0.52	2.55	374	2.08	0
5.03	4.98	1241	3.062	747
10.08	6.08	1488	4.03	994
20.06	7.93	1862	5.01	1241
30.32	9.01	1957	6.09	1488
40.16	9.99	1988	7.09	1802
50.78	10.91	2019	8.07	1988
60.28	11.4	1988	9.05	1988
70.68	11.71	2079	10.03	1988
80.37	11.88	2049	11	1988
86.01	11.92	2019	12.04	2049
100	11.92	2019	12.37	2049

$$V_{out} = (V_{ref} * \text{duty cycle}) / \text{periode}$$

$$V_{out} = (v_{ref} * 1/100) \text{ } 10.92 \text{ mS}$$

BAB V

PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dan analisa tentang metode *pulse width modulation* untuk pengendali tegangan motor dc dapat di simpulkan :

1. Bentuk kurva kecepatan motor dc jika diberikan sumber tegangan *pulse width modulation* akan berbeda dengan kurva kecepatan motor jika di berikan sumber tegan secara kintinyu.
2. Pengaturan kecepatan motor dc dengan metode *pulse width modulation* lebih baik dibandingkan dengan metode pemberian tegangan secara kontinyu.
3. Motor dc lebih cepat berputar jika di berikan sumber *Pulse width modulation* dan metode ini dapat memutar motor dc dengan tegangan yang kecil.
4. Kecepatan putar motor dc 12V akan naik secara linier jika di berikan tegangan input 2.9V hingga 8Vdc.

5.2. SARAN

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini tentunya tidak lepas dari berbagai macam kekurangan dan kelemahan, baik pada sistem maupun pada peralatan yang dibuat. Untuk itu, demi kesempurnaan alat ini dan untuk pengembangan, penulis dapat memberikan beberapa catatan:

- 1 . Perlu ditambahkan jumlah lubang pada piringan sensor putaran motor DC sehingga akurasi pengukuran rpm dan kualitas meningkat.
2. Untuk membuktikan hasil yang lebih akurat perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan motor dc tanpa rangkaian penstabil putaran.
3. Untuk mendapatkan hasil analisa yang lebih baik sebaiknya menggunakan rangkain pwm otomatis.

DAFTAR PUSTAKA

- Depari, Gandi, *Pokok-pokok Elektronika*. M2S Bandung, Bandung, 2000.
- Firdaus, *Microsof Visual Basic 6.0 Untuk orang awam*, Maxikom, Palembang, April 2006.
- Malvino, Albert Paul, *Prinsip-prinsip Elektronika*, Erlangga, Jakarta. 1985
- Satyadi, Melani, *Elektronika Digital*, Andi Yogyakarta, Yogyakarta. 2003
- Shato. *Optocoupler*. http://elka2_blogspot@yahoo.com/category/electronic/.
(diakses tanggal 14 Mei 2009. 6:58 AM) .
- Sutrisno, *Elektronika Teori dan Penerapan*, ITB, Bandung. 1986
- Zuhal, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia, Jakarta. 2000.